

Technická Univerzita v Liberci

Fakulta Textilní



Katedra Hodnocení Textilíí

Studijní obor: N 3108 Produktový Management

Zaměření: PMT - Průmyslový Management Textil

**POŠKOZENÍ TEXTILNÍCH VLÁKEN FOTOKATALYTICKÝMI
PROCESY**

**DAMAGE OF TEXTILE FIBERS CAUSED BY
PHOTOCATALYTIC PROCESSES**

KHT - 114

Diplomantka: Bc. Lucie Peterová

Vedoucí práce: doc. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Konzultantka: Ing. Andrea Chládová

V Liberci dne 9. května 2012

Zadání

P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 9. května 2012

.....

Podpis

Poděkování

Touto cestou bych chtěla především poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Jakubu Wienerovi, Ph.D. za odborné vedení při její tvorbě a konzultantce Ing. Andree Chládové za cenné rady a připomínky při vypracování této práce.

Dále děkuji Ing. Janě Grabmüllerové, Ing. Rudolfu Třešňákovi, Ing. Martinu Stuchlíkovi za jejich pomoc při realizaci experimentů a Ing. Tomáši Kubatíkovi za odborné připomínky k tématu.

Poděkování patří i mé rodině za podporu při studiu a při psaní diplomové práce.

Lucie Peterová

Obsah

1.	Úvod	10
2.	Teoretická část	11
2.1	Textilní vlákna	11
2.1.1	Vybraná textilní vlákna.....	11
2.1.2	Odolnost vláken proti UV záření	14
2.1.2.1	Světlo.....	14
2.1.2.2	Ultrafialové záření (UV).....	15
2.1.2.3	Vliv UV záření na textilní materiál.....	17
2.1.2.4	Fotolytická degradace vláken.....	18
2.1.3	Analytické metody	19
2.1.3.1	Mechanické vlastnosti vláken	19
2.1.3.2	Savost vláken.....	20
2.1.3.3	Rastrovací elektronová mikroskopie (SEM)	20
2.1.3.4	Rentgenová fluorescenční analýza (XRF)	20
2.1.3.5	Spektrofotometrické metody.....	21
2.2	Fotokatalýza a TiO ₂	23
2.2.1	Fotokatalýza	23
2.2.1.1	Aplikace fotokatalýzy v textilu	25
2.2.1.2	Vědecké poznatky o poškození vláken fotokatalýzou.....	25
2.2.2	TiO ₂	28
2.2.2.1	Fyzikální a chemické vlastnosti TiO ₂	29
2.2.2.2	Použití TiO ₂	29
2.2.2.3	Vliv vlhkosti na fotokatalytické vlastnosti TiO ₂	31
2.3	Životní prostředí.....	32
3.	Experimentální část.....	33
3.1	Materiály používané pro experimenty.....	33
3.2	Použité laboratorní přístroje	34
3.2.1	UV světelné zařízení	34
3.2.2	Ultrazvukový homogenizátor	35
3.2.3	Fulár Mathis	35
3.2.4	Sušící zařízení	35
3.2.5	Vega TS 5130 - Rastrová elektronová mikroskopie.....	36

3.2.6	Labtest 2.05 - Trhací přístroj	36
3.2.7	RTG fluorescenční spektrometr ElvaX II	37
3.3	Použité metody	40
3.3.1	Praní dodaných textilních vzorků materiálů	40
3.3.2	Příprava zásobních roztoků TiO ₂	40
3.3.3	Příprava fotokatalytické vrstvy na materiálu	41
3.3.4	UV záření a různé relativní vlhkosti vzduchu	42
3.3.4.1	Suché prostředí	42
3.3.4.2	Vlhké prostředí	43
3.3.4.3	Mokré prostředí	44
3.4	Experimenty pro zjištění poškození vláken vlivem fotokatalytických procesů	45
3.4.1	Elektronová rastrovací mikroskopie (SEM)	45
3.4.2	Měření pevnosti a tažnosti materiálů	46
3.4.3	Zjištění savosti materiálů	47
3.4.4	Povrchová analýza rentgen fluorescence (XRF)	48
4.	Výsledky a diskuse	49
4.1	Bavlna	49
4.1.1	Mikrostruktura materiálu	49
4.1.2	Pevnost a tažnost materiálu	50
4.1.3	Vzlínavost materiálu	51
4.1.4	Prvková analýza XRF	53
4.2	Polyester	55
4.2.1	Mikrostruktura materiálu	55
4.2.2	Pevnost a tažnost materiálu	56
4.2.3	Vzlínavost materiálu	57
4.2.4	Prvková analýza XRF	59
4.3	Polyamid	60
4.3.1	Mikrostruktura materiálu	60
4.3.2	Pevnost a tažnost materiálu	62
4.3.3	Vzlínavost materiálu	63
4.3.4	Prvková analýza XRF	64
4.4	Polypropylen	65
4.4.1	Mikrostruktura materiálu	65
4.4.2	Pevnost a tažnost materiálu	67

4.4.3	Vzlínavost materiálu.....	68
4.4.4	Prvková analýza XRF.....	70
5.	Závěr.....	71
	Seznam příloh.....	74
	Seznam obrázků	75
	Seznam tabulek.....	76
	Seznam grafů.....	77
	Seznam použitých zkratk a symbolů	79
	Seznam použité literatury a internetové zdroje	80

Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na poškozování vybraných textilních vláken (bavlna, polyester, polyamid, polypropylen) vlivem fotokatalytických procesů. Je realizována nanesením substance nanočástic oxidu titaničitého (TiO_2) na připravené materiály, působením UV záření v různých časových délkách a sledováním změn povrchu vláken.

Práce je rozdělena na dvě části (teoretickou a experimentální). První část definuje výchozí pojmy a postupy používané při práci v laboratořích Technické univerzity.

V druhé části se práce zabývá popisem použitých druhů materiálů, laboratorních zařízení, změnami relativních vlhkostí při působení UV záření a vlastním experimentálním výzkumem. Popisuje zkoušky realizované po nanesení nanočástic oxidu titaničitého na vzorky tj. ozáření vzorků a jejich následné zkoumání analytickými metodami.

Na závěr je uvedeno zhodnocení výsledků a diskuze.

Klíčová slova

Povrch, nanočástice, fotokatalýza, TiO_2 , UV záření

Abstract

This thesis focuses on the damage of selected textile fibers (cotton, polyester, polyamide and polypropylene) due to photocatalytic processes. These processes are studied by depositing nanoparticles of titanium dioxide (TiO_2) on the prepared materials, applying UV radiation for different lengths of time and monitoring changes in surface fibers.

The work is divided into two parts (theoretical and experimental). The first section defines the initial concepts and procedures used when working in the laboratories of the Technical University.

The second part of the thesis deals with a description of the types of materials, laboratory equipment, changes in relative humidity upon exposure to UV radiation, and results of experimental tests carried out after the deposition of titanium dioxide nanoparticles. The effects of irradiation of the TiO_2 treated samples and their subsequent examination of analytical methods are reported.

The paper concludes with discussion and evaluation of results.

Keywords

Surface, nanoparticles, photocatalysis, TiO_2 , UV radiation

1. Úvod

Je jistě nezpochybnitelné, že lidská společnost se obecně stále snaží vyvíjet a zdokonalovat. Díky tomu, můžeme téměř denně sledovat výsledky mnoha vědeckých výzkumů, které nejen posouvají hranice teoretického poznání, ale umožňují i praktickou aplikaci vědy v životě. Nejinak je tomu v oblasti nových textilních technologií. S rostoucím vývojem klademe stále náročnější požadavky na konečné výsledky. U textilních materiálů zejména na užité vlastnosti finálních výrobků.

V poslední době je řada odborných článků věnována fotokatalytickému oxidu titaničitému TiO_2 , jehož vlastnosti doznávají využití v mnoha oblastech výzkumu. TiO_2 především vyniká svými samočisticími účinky. Reakce probíhají za přítomnosti slunečního světla nebo UV záření (s adekvátní vlnovou délkou) kdy dochází k rozkladu organických částic způsobujících znečištění vody, půdy nebo vzduchu. Spolupráce TUL s TA ČR a NanoCover navazuje na projekt a zaměřuje se na zkoumání fotokatalyticky aktivního TiO_2 . Aplikace na textil začíná být v tomto směru stále více rozvíjené odvětví. Využitím fotokatalytických vlastností TiO_2 dochází k rozkladu chemických látek a tím k čištění textilních materiálů. Tato diplomová práce se zabývá zkoumáním kvantitativních a kvalitativních změn na textilních vláknech použitím fotoaktivního TiO_2 při využití UV záření. Nanesené nanočástice TiO_2 jsou stabilizovány na povrchu materiálů a ozářeny UV zářením v různých časových délkách. Následně dochází k porovnávání původních materiálů před ozářením, materiálů po ozáření s TiO_2 a materiálů se suspenzí TiO_2 bez ozáření (sleduje se vliv na poškození textilních materiálů a míra tohoto poškození). Vzorky materiálů jsou zkoumány pomocí elektronové rastrovací mikroskopie a rentgen fluorescence pro zjištění případných změn na povrchu vláken. Dále jsou vzorky podrobeny zkoušce pevnosti a savosti materiálů.

Vědecké studie o fotokatalýze začaly asi před třemi desítkami let. Mnoho autorů se zabývalo bakteriemi a mikroorganismy, které produkují nepříjemný zápach. TiO_2 je pro svou chemickou odolnost, biokompabilitu a fotoaktivitu aplikován v mnoha oborech. Díky fotokatalytickým účinkům dokáže po UV ozáření rozkládat i složité organické sloučeniny, mikroorganismy a jeho samočisticího efektu je využíváno při čištění vzduchu, vody a k likvidaci nebezpečných látek. Z výše uvedeného vyplývá, že dle mého názoru s nástupem nových technologií a s růstem znalostí vědy bude vývoj samočisticího TiO_2 stoupat i nadále.

2. Teoretická část

První část diplomové práce je zaměřena na teoretický rozbor základních kategorií jako jsou světlo, fotokatalýza, TiO_2 ; pro celou práci vymezuje vztahy mezi nimi a informace o jednotlivých pojmech. Podkapitoly rozepisují přehled o vlastnostech materiálů, laboratorních zařízeních a použité technologii během procesu při výzkumu.

2.1 Textilní vlákna

Textilní vlákna jsou velmi důležitým materiálem pro civilizované lidstvo. Je nutné na základě znalostí podmínek v aplikačním prostředí volit takovou sestavu materiálu, aby možnost poškození a degradace textilních vláken byla snížena na minimum.

Základní rozdělení vláken je na přírodní a syntetická. Vlákná přírodního původu se získávají z rostlin nebo živočichů. Rostlinná vlákna jsou tvořena převážně celulózou, která vytváří v rostlině buněčnou stěnu. Živočišná jsou ze srsti různých zvířat. Vlákná ze syntetických polymerů mají vyšší odolnost proti poškození než přírodní materiály. Poškození mohou způsobit kyseliny a zásady, rozpouštědla, vysoké teploty a v neposlední řadě i UV záření. Poškození se může projevit poklesem mechanických vlastností, ovlivněním sorpčních a zpracovatelských vlastností. [1]

2.1.1 Vybraná textilní vlákna

Bavlna

Bavlna (ba) je jedním z nejrozšířenějších druhů přírodních vláknem. Má největší obsah celulózy. Byla známa již ve 3. tis. př. n. l. Různé druhy bavlníku se pěstují převážně v subtropickém pásmu (Guinea, Egypt). Tobolky (plody) obsahují semena pokrytá bavlněnými vlákny.

Kvalita bavlny je ovlivněna zralostí. Vlákná jsou bílá až nažloutlá, s nízkou tažností a pružností. Mají dobrou navlhavost, termoregulaci, dobře se barví. Často se používá při směsování se syntetickými vlákny. Nevýhodou je její mačkavost a žmolkovitost. Bavlna je proti teplotě kolem 100 °C poměrně odolná. Při vyšších teplotách (240 °C) dochází k jejímu zuhelnatění. [2,3]

Polyester

Polyesterová vlákna (PES) mají vzhledem ke svým vlastnostem výsadní postavení ve skupině syntetických materiálů. Polyesterová vlákna jsou termoplastická a citlivá vůči alkáliím. Odolávají jak oxidaci, tak redukci. Přítomnost organických rozpouštědel vlákna nepoškodí. Vzhledem k absenci UV záření v interiérech se jedná o úpravu s prakticky neomezenou životností. PES vlákna jsou citlivá na vlnové délky 300 - 330 nm. PES vlákna vykazují, na rozdíl například od PAD vláken, větší odolnost proti UV záření. Podobně jako u polyamidů matování pomocí kysličníku titaničitého zvyšuje citlivost vůči slunečnímu světlu. Ve vlhkém klimatu probíhají degradační procesy polymerních vláken mnohem rychleji než v suchém prostředí. [1,4]

Vlákna se vytváří polykondenzací tereftalové kyseliny a etylénglykolu zvláknováním z taveniny. Vyznačují se vysokou schopností zotavení, vysokou pružností, objemností, mají sklon k žmolkování a odolnost vůči světlu a slunečním paprskům. Teplota tání je až 285 °C, tepelná odolnost 180 - 200 °C, teplota měknutí polyesterových vláken je až 250 °C. Vlákna jsou hořlavá, vydávají nasládlý aromatický zápach. [2,5]

Polyamid

Polyamidová vlákna (PAD) jsou nejvíce citlivá na poškození. Snadno degradují světlem a atmosférickými vlivy. PAD 6 má vyšší krystalitu i teplotu zesklenní a tání, PAD 6.6 (nylon) lépe odolá kyselinám. Polyamidová vlákna jsou také odolná vůči alkáliím. Průběh degradace a vliv světla způsobuje žloutnutí PAD a snižuje se pevnost a tažnost. To způsobuje hlavně kyslík, který celý proces urychlí. [1,4]

Má dobrou pevnost za mokra, dobrou stálost na světle. Teplota tání 220 °C, tepelná odolnost výrobku do 160 °C. Teplota měknutí 170 – 235 °C. Jsou pevná a elastická, s vynikající odolností v oděru a tvarovou stálostí. Mají ovšem i sklon ke vzniku elektrostatického náboje, proto se opatřují různými druhy trvalých úprav povrchu materiálů. [2,5]

Polypropylen

Polypropylenová vlákna (PP) nacházejí stále širší uplatnění. Vlákna se vyrábějí jako stříž a používají ve směsích s jinými vlákny. Tato vlákna mají nízkou odolnost vůči

světlu. Za 4 měsíce se jejich pevnost sníží až o 20 %. Jedná se o intenzivní absorpci UV záření. [1]

Mají nižší schopnost zotavení po deformaci. Nejsou navlhavá. Teplota tání 170 °C, teplota měknutí 145 – 155 °C, tepelná odolnost výrobku do 110 °C. Hoří pomalu žlutým plamenem. Mají vysokou odolnost vůči působení kyselin a zásad. [2,5]

Povrch textilních materiálů

Povrch je rozhraním mezi látkou a okolním prostředím. Působí na něho vnější i vnitřní vlivy, proto jsou kladeny přísné finální požadavky na úpravy výrobků.

Struktura povrchu vlákna má často jiné vlastnosti než samotné vlákno uvnitř. Povrch vlákna je důležitý pro řadu vlastností vlákna jako celku. U přírodních vláken je to dáno odlišnou strukturou vzniklou při růstu vláken, u chemických vláken je povrch ovlivněn technologickými podmínkami přípravy. Na hodnocení textilních materiálů mají vliv i změny působením různých procesů namáhání (tah, ohyb, tlak) nebo teplota.

Úpravám povrchových vlastností textilií se věnuje velká pozornost. Ovlivňují výsledné vlastnosti daného vlákna, například tření mezi vlákny, absorpci a adsorpci, oděr, omak, lesk nebo smáčivost povrchu. Úpravami vláken tak docílíme širokého spektra zpracovatelských a užitných vlastností produktu.

Povrch vlákna je často přizpůsobován přídatnými látkami do vlákna, které vlivem technologických podmínek ovlivňují povrch a mění jeho vlastnosti. Zmatněním povrchu materiálů pomocí titanové běloby můžeme kladně ovlivnit výsledný efekt například u syntetických polyesterových a polyamidových vláken. Jen slabou ochranu poskytuje u hedvábné nebo bavlněné tkaniny. [6]

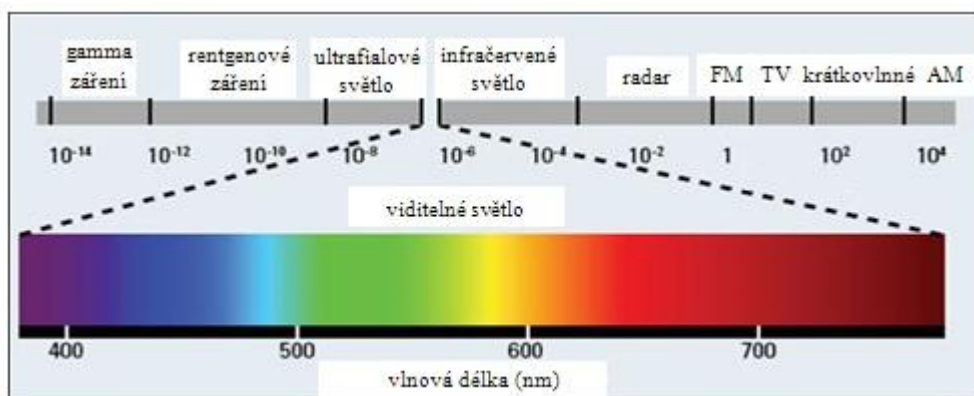
Velmi často testovanými vlastnostmi je hydrofilnost a smáčivost povrchu, která je charakterizována jako schopnost kapaliny proniknout do struktury vláken. Voda, která se dostane do kontaktu s povrchem materiálu, má tendenci rozložit se po celé jeho ploše a vsáknout se dovnitř vláken. Proto probíhá hydrofobní úprava povrchu. Kapka vody po aplikaci této úpravy zůstane sbalena do kuličky na povrchu materiálu. Vlákná s určitou povrchovou úpravou jsou vodivější a i působení různých relativních vlhkostí vzduchu může mít na vlákna rozdílný vliv. [7]

2.1.2 Odolnost vláken proti UV záření

2.1.2.1 Světlo

Všechny druhy textilních vláken podléhají destrukčním vlivům slunečního záření. Světlo je ve své podstatě elektromagnetické záření s vlnovou délkou, které je vnímáno lidským okem.

Má tři základní vlastnosti – vlnovou délku (rychlost či frekvence kmitání), intenzitu (síla či amplituda vlny) a polarizaci (směr kmitání). Rychlost kmitání světelného vlnění vnímá člověk jako barvu (pomalejší vlnění jako červenou, rychlejší jako modrou až fialovou). Výška vlny (amplituda) odpovídá intenzitě světla (jasu). [8]



Obr. 1 UV-VIS Spektrum [8]

Energie uvolněná v nitru Slunce má nejprve formu fotonu a následně rentgenového záření. Toto energetické záření pozvolna prosakuje oblastí zářivé rovnováhy až k povrchu slunce za současné přeměny na záření ultrafialové a světelné. Většina slunečního záření je ve formě světla a infračerveného záření. Pro život na Zemi je nepostradatelnou složkou energie. [9]

Člověk dokáže vnímat pouze malý kousek spektra o vlnových délkách od 380 do 750 nm, tzv. světlo viditelné. Barvy složení viditelného světla jsou červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá, indigo a fialová. Největší vlnovou délku má barva červená a nejmenší vlnovou délku barva fialová. Světelné energie začala využívat i fotokatalytická technologie. [8,10]

Spektrální složení slunečního záření dopadajícího na povrch Země:

9% ultrafialové záření (UV) 290 - 380 nm

45% viditelné záření 380 - 750 nm

46% infračervené záření nad 750 nm [9]

Slunce je obrovský termojaderný reaktor. Jeho celkový výkon je $3,8 \cdot 10^{26}$ W, na Zem však dopadne jen nepatrná část, 180 000 TW. [9]

Podle kvantové teorie se světlo a veškeré jiné elektromagnetické záření skládá z částic – fotonů, jejichž energie je přímo úměrná frekvenci světla (energie fotonů). Viditelné světlo i okolní infračervené a ultrafialové záření je tvořeno fotony s energií řádově v jednotkách elektronvoltů (eV). Molekulová absorpční spektrometrie v UV-VIS oblasti sleduje absorpci elektromagnetického záření v intervalu od 200 do 800 nm. Vzduch absorbuje záření o vlnové délce pod 200 nm. Oblast 10 - 200 nm je tzv. vakuová UV oblast.

2.1.2.2 Ultrafialové záření (UV)

Podle působení na lidský organizmus lze světlo rozdělit na ultrafialové, viditelné a ultračervené. Ultrafialové záření je součástí slunečního spektra. Jedná se o neviditelné elektromagnetické záření v rozsahu od 100 nm do 400 nm. Nachází se mezi viditelným slunečním zářením a rentgenovými paprsky. [4,11]



Obr. 2 Ultrafialové sluneční záření [12]

Záření s vlnovými délkami 200 - 242 nm je intenzivně absorbováno molekulami kyslíku. UV-B záření není pohlcováno pouze ozónem, ale i atmosférickými aerosoly, oblaky a prachem.

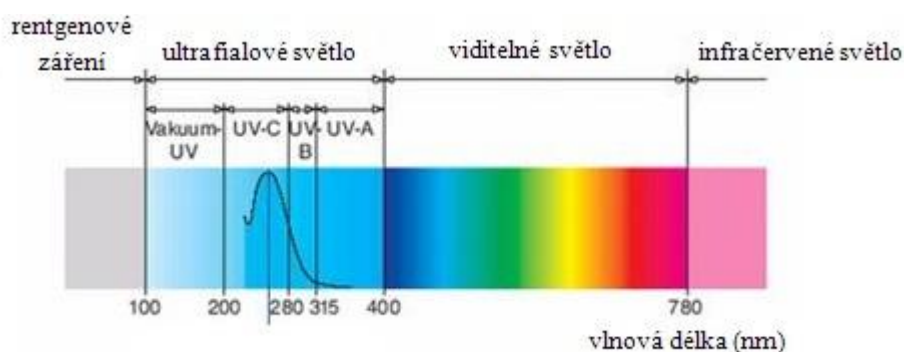
Použitím vhodných zdrojů UV-A světla nebude několikanásobně překročena minimální intenzita UV-A záření, nehrozí tedy lidem žádné nebezpečí zdravotního poškození. Taková intenzita UV záření je totiž nižší, než jsou hodnoty naměřené ve venkovním prostředí v zimním období. UV-B a UV-C jsou zdroje ultrafialového světla, před kterými je třeba varovat. Vydávají tzv. tvrdé UV záření (vlnové délky menší než 300 nm), které je lidskému zdraví silně nebezpečné. [13]

Ultrafialové záření lze dále rozdělit z hlediska biologických účinků:

UV-A (320 - 400 nm – dlouhé vlnové délky) je nejméně nebezpečné. Pronikne mlhou, mraky i sklem. V rozumném množství je pro lidské tělo potřebné (tvorba vitamínu D, posílení metabolismu) v opačném případě může způsobit pigmentové skvrny nebo vrásky.

UV-B (290 – 320 nm – středné vlnové délky) dokáže proniknout jen několika buňkami, je převážně pohlceno ozónem ve stratosféře, má baktericidní účinky a usmrcuje mikroorganismy.

UV-C (pod 290 nm – krátké vlnové délky) je považováno za karcinogenní a nebezpečné pro všechny organismy. UV-C je úplně absorbováno ozónovou vrstvou. Používá se při desinfekci vody. [4,14]



Obr. 3 Elektromagnetické záření [11]

Zhruba 34 % slunečních paprsků se v atmosféře odrazí a 19 % pohltí. Na zem dopadne kolem 47 % paprsků. Ochrana těla vůči UV záření zahrnuje buď jeho absorpci, nebo rozptýlení před kontaktem s pokožkou. Řada UV absorbérů oslabuje záření a tím vlákna chrání proti fotodegradaci. Rozptyl a absorpci UV záření zajistí látky na bázi keramiky s vysokým indexem lomu (např. TiO_2). O něco málo méně účinný je ZnO , který prakticky nepropouští paprsky od 300 nm do 370 nm vlnové

délky. UV absorbéry mohou být i aromatické sloučeniny obsahující benzenová jádra různých struktur (na bázi kyseliny salicylové, benzofenu a benzotriazolu). [4]

2.1.2.3 Vliv UV záření na textilní materiál

UV záření je pro lidské oko neviditelné a nese velké množství netepelné energie. Zdrojem UV záření je především Slunce, ale také umělé zdroje. UV záření, jako přirozená součást slunečního záření, má vliv téměř na všechny textilní materiály. Fotodegradační procesy probíhají u textilních materiálů většinou za přítomnosti vzdušného kyslíku a vlivů okolní atmosféry. Ochrana vůči UV záření u textilií používaných zejména v letních měsících se stala v posledních letech velmi žádaná. S ohledem na použití techniky se aplikují prostředky přímo do vláken jako aditiva (polyester) nebo se používají prostředky chránící proti UV při procesu zušlechťování vláken. Celulózová vlákna mají nízkou afinitu k UV absorbérům, proto se tyto látky dodávají do pryskyřičných úprav (při realizaci nemačkové úpravy). U technických textilií docílíme ochrany díky technice zátěrů a nánosů. [4]

Působením UV záření dochází k degradaci materiálu a zároveň ke ztrátě pevností vláken. Textilní materiál má vlastnost chránit nás před UV zářením. Ideální materiál nepropustí UV záření a má velmi malé otvory mezi přízemi. Čím je větší hustota uspořádání textilie, tím je vyšší ochrana vůči UV záření. Tkaniny jsou například vhodnější než pleteniny a staplové příze použijeme častěji než hedvábné. I sytost odstínů má své výhody. Syté odstíny chrání lépe než světlé. Byl zjištěn rozdíl mezi propustností černé PES tkaniny a bílé PES tkaniny, kdy propustnost UV byla u bílé tkaniny o 16 % vyšší než u černé tkaniny stejné konstrukce. Stupeň srážení redukuje prostory mezi vlákny a zvyšuje tím UV ochranu materiálu. Vlákná dokážou pohlcovat UV-A i UV-B záření a jen málo paprsků projde mezi nimi. Látky, které odrážejí UV záření, jsou obvykle na bázi keramiky (např. TiO_2). [4,15]

SPF (Sun Protection Factor) určuje dočasnou ochranu tzv. ochranný faktor. Jedná se o zkratku uváděnou na fotoprotektivních přípravcích proti slunci. Ty obsahují látku, která zvyšuje obranyschopnost kůže proti zarudnutí při působení UV záření. [16,17]

UPF (Ultraviolet Protection Factor) určuje, kolik slunečního UV záření odráží nebo absorbuje používaný textilní materiál. Závisí na použitém druhu materiálu, typu

barviva nebo úpravě povrchu. Čím je číslo UPF větší, tím lepší je stupeň ochrany. Textilie s označením 50 budou propouštět pouze 1/50 dopadajících UV paprsků. Tkaniny, které propustí méně než 2 % UV světla jsou označovány UPF 50+. [18]

2.1.2.4 Fotolytická degradace vláken

K fotolytické degradaci textilních vláken (fotodegradaci) dochází působením světla, převážně vlivem jeho ultrafialové složky. Degradace vláken závisí na jejich původu. Vlákná mají velký povrch, a proto degradace probíhá vlivem vnějšího prostředí rychleji. Při degradaci dochází dvěma základním dějům; k depolymeraci (D) a statickému praskání řetězců (P). Při fotodegradaci závisí intenzita působení na velikosti světelné energie. Energie fotonů o vlnových délkách 400 - 300 nm je 300 - 390 kJ/mol. UV záření typu A je energeticky srovnatelná s energií kovalentních vazeb v polymerech (energie C-C vazby je kolem 420 kJ/mol). [4,19,20]

Prvním krokem je praskání primárních vazeb v řetězcích a depolymerace (rozklad chemicky složité látky na jednoduché složky). Depolymerace snižuje postupně molekulovou hmotnost a tím i mechanické vlastnosti vláken. Nebezpečnější je statistické praskání řetězců, kdy klesá pevnost daleko rychleji. Velmi častá bývá i hydrolytická degradace zapříčiněná působením vody (agresivním kapalným prostředím). Základním mechanismem je praskání řetězců. [4,19]

Degradační procesy závisí na tom, zda probíhají na vzduchu nebo ve vakuu. Textilní vlákna mají schopnost udržovat vlhkosti s okolním prostředím. U vláken dochází absorpcí vody ke změnám rozměrů vláken, které mohou vést k mechanickému poškození. V závislosti na relativní vlhkosti vzduchu je část vody transportována do vláken. Přírodní vlákna se při nízké relativní vlhkosti vzduch stávají křehká a může docházet k jejich vysušení. U celulóзовých vláken dochází se zvýšeným obsahem vlhkosti ke zvýšení pevnosti. Bavlněná vlákna jsou na změny vlhkosti citlivější než vlněná nebo hedvábná. Za normálních podmínek nejsou bavlněná vlákna slunečním světlem odbourávána. Vliv světelného záření na bavlnu je vyšší až po zušlechťovacím procesu (zhoršují se její mechanické vlastnosti). [3,20]

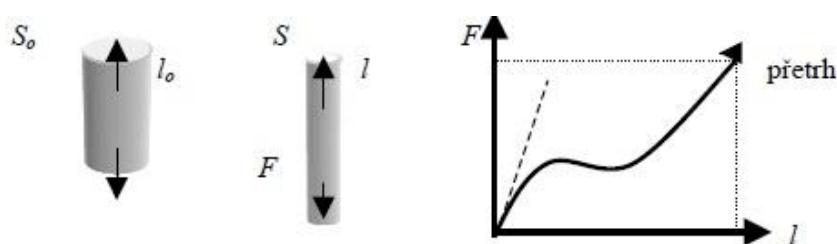
TiO₂ může vést k menší degradaci celulóзовých vláken vzhledem ke své oxidační síle. Kompozitní vrstvy TiO₂-SiO₂ by měla chránit celulóзова vlákna před jejich degradací. [21]

2.1.3 Analytické metody

2.1.3.1 Mechanické vlastnosti vláken

Mechanické vlastnosti jsou odezvou na mechanické působení od vnějších sil namáhání. Během namáhání dochází v niti (textilii) ke změně tvaru – deformaci, která závisí na velikosti zatížení, rychlosti namáhání a době trvání. [4]

Základním režimem namáhání je jednoosá deformace v tahu (vztah mezi silou a protažením vláken (Obr. 4). Na vlákno působí rostoucí síla a dochází k růstu prodloužení až do bodu přetrhu.



Obr. 4 Pracovní diagram vláken [22]

Vlákno původní délky l_o a plochy příčného řezu S_o je působením síly F prodlouženo na délku l a zároveň zúžena plocha jeho příčného řezu S . Místo absolutní síly F [N] se používá relativní síla F_r (síla na jednotku jemnosti) neboli napětí σ . [22]

$$F_r = F/T \text{ [N/tex]} \quad (1)$$

Pevnost a tažnost jsou základními charakteristikami všech typů vláken. Pevnost je definována jako relativní síla (síla do přetrhu) F_r [N/tex] nebo jako napětí do přetrhu σ_p [GPa]. Tažnost je deformace do přetrhu ε_p [%].

Relativní pevnost F_p - pro běžná vlákna vycházejí pevnosti řádově v jednotkách $[\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1}] = [\text{g} \cdot \text{tex}^{-1}]$

$$F_p = P/T \text{ [N/tex]} \quad (2)$$

l_T - délka [m] Tržná délka, je tisíckrát větší než relativní pevnost. Vlákno se při ní přetrhne vlastní vahou. [4]

2.1.3.2 Savost vláken

Savost (nasákavost) materiálu je velmi důležitým parametrem. Jedná se o schopnost materiálu přijímat kapalinu, s níž přichází do styku. Nasákavost W [kg/m^2] udává, jaké množství vody absorbuje materiál během určitého časového intervalu.

$$W = w \cdot \sqrt{t} \quad (3)$$

Kde w [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-0,5}$] je koeficient nasákavosti a t [h] doba, po kterou je materiál v kontaktu s kapalinou. [23]

2.1.3.3 Rastrovací elektronová mikroskopie (SEM)

Rastrovací nebo též řádkovací elektronový mikroskop je přístroj používaný k pozorování nejrůznějších objektů při analýzách textilních vláken a nadvlákných struktur. Jeho vznik je znám poměrně dlouho od 50. let 20. století. Vyskytuje se v mnoha vědeckotechnických oborech. Hlavní předností je možnost přímého pozorování objektů nepropustných pro elektrony, jednoduchá příprava preparátů, rozsah zvětšení a vysoká rozlišovací schopnost, vynikající hloubka ostrosti a plastičnost obrazu. [24]

SEM je vybaven detektory sekundárních a odražených elektronů a elektronikou na zesílení a zpracování signálu a tvorbu obrazu. Přístroje pracují za vysokého vakua 10^{-2} Pa. Preparáty a vzorky izolantů se pro zamezení nabíjení povrchu nanášou vrstvou kovu iontovým naprašováním. Tloušťka vrstvy se pohybuje v řádech 10 nm. Výstupem ze SEM je fotografie. [25]

2.1.3.4 Rentgenová fluorescenční analýza (XRF)

Jednou z dalších velice užitečných metod může být metoda rentgen fluorescenční analýzy (povrchová analýza) aplikovaná a modifikovaná pro hodnocení povrchových vrstev. Jedna z nejrozšířenějších metod na principu ionizačního záření se využívá pro zjištění chemického složení nebo stáří materiálů. Na materiál nemá žádný vliv a ani ho nepoškozuje.

Rtg. paprsky tvoří část elektromagnetického spektra a jsou charakterizovány jejich energií (v kiloelektronvoltech - keV) nebo vlnovou délkou (nm).

Princip je založen na interakci atomů vzorku s proudem částic nebo záření o vysoké energii. Výstupem je pak spektrum, ve kterém je zobrazen počet pulsů za sekundu (cps) pro příslušné vlnové délky (nm), nebo příslušné energie (keV). Metoda analyzuje pouze povrchovou vrstvu materiálu. [26]

Rentgenová fluorescenční technologie poskytuje jednu z nejjednodušších a nejpřesnějších analytických metod pro stanovení chemického složení mnoha druhů materiálů. Použitá metoda rentgen fluorescenční analýzy má možnost přesného polohování a měření z velmi malých ploch. [26,27]

2.1.3.5 Spektrofotometrické metody

Spektrofotometrické metody patří dnes v chemické analýze mezi nejrozšířenější metody, což je dáno jejich specifitami, citlivostí a zejména experimentální a časovou nenáročností. Ultrafialovo-viditelná spektrometrie je analytickou metodou, kterou řadíme mezi elektromagnetické spektroskopické metody. Podstatou je absorpce elektromagnetického záření v intervalu 200 – 800 nm (UV-VIS spektrum). [28]

Spektrofotometrické stanovení koncentrace je založeno na platnosti Lambert-Beerova zákona - intenzita zabarvení roztoku (měřená jako absorbance A) dané sloučeniny je při konstantní tloušťce vrstvy měřeného roztoku d a konstantní vlnové délce záření přímo úměrná molární koncentraci c barevné sloučeniny v roztoku ϵ v jednotkách $\text{mol}^{-1}\text{dm}^3\text{cm}^{-1}$ je tzv. molární absorpční koeficient, vyjadřující absorbanci. Lambert-Beerův zákon neboli absorbance záření je úměrná počtu částic na nižší energetické hladině za konstantních podmínek. [28,29]

A = absorbance

ϵ = molární absorpční koeficient v jednotkách $[\text{cm}^2/\text{mol}]$

c = koncentrace $[\text{mol}/\text{dm}^3]$

d = délka absorpčního prostředí [cm]

$$A = \log \frac{\Phi_0}{\Phi_I} = \epsilon * c * d \quad (4)$$

S rostoucí koncentrací c, absorbance roste; s rostoucí délkou d, absorbance roste.

Absorbance A je definovaná jako logaritmus poměru původního a prošlého zářivého toku. Jedná se o bezrozměrnou veličinu. Absorbance nabývá hodnot od 0 výše (pokud $A = 0$ vzorek neabsorbuje záření o dané vlnové délce).

Kromě absorbance je důležitou veličinou propustnost, která je definovaná jako poměr toku záření prošlého absorpčním prostředím ku zářivému toku do prostředí vstupujícího (poměr intenzity záření vstupujícího a vystupujícího). [30]

$$\tau = \frac{\Phi}{\Phi_0} \quad (5)$$

Transmitanci (propustnost) využíváme při nastavení maxima vlnové délky rezonanční čáry ve spektrálním intervalu. Jedná se o bezrozměrnou veličinu, nabývající hodnot od 0 do 1 (0 – 100 %). Pokud $T = 1$, vzorek je pro světlo dokonale propustný. Pokud $T = 0$ vzorek světlo dokonale absorbuje. Mezi absorbancí a transmitancí platí jednoduchý převodní vztah:

$$A = -\log \tau \quad (6)$$

2.2 Fotokatalýza a TiO₂

2.2.1 Fotokatalýza

Fotochemie je nauka o chemických reakcích a přeměnách vyvolaných působením elektromagnetického záření. Fotokatalýza může být definována jako zrychlení fotochemické reakce tím, že přítomný fotokatalyzátor snižuje aktivační energii, čímž umožňuje průběh reakce a výrazně ji urychluje. Fotokatalýza je tedy fyzikálně chemický proces, při kterém se vlivem působení UV záření aktivují nanočástice katalyzátoru usazené na povrchu. [10,31]

Fotokatalýza je založena na absorpci záření o vhodné vlnové délce v částici polovodiče (fotokatalyzátoru), jež má za následek vybuzení elektronu z valenční vrstvy do vodivostní vrstvy tohoto fotokatalyzátoru. Energie fotonu musí být větší nebo rovna energii zakázaného pásu daného polovodiče. [31]

Nejčastěji používaným fotokatalyzátorem je oxid titaničitý v krystalové modifikaci anatas. Šířka zakázaného pásu anatasu je rovna 3,2 eV, což odpovídá záření o vlnové délce nižší než 388 nm. Katalyzátor je taková látka, která urychluje chemickou reakci, ale sama se při reakci nespotřebovává. Vstupuje i vystupuje ve stejné formě (např. TiO₂). [32,33,34]

TiO₂ má schopnost rozkládat organické a jiné látky za působení UV záření. Fotokatalytická aktivita závisí na schopnosti katalyzátoru vytvářet pár elektron-díra, který vyvolá vznik volných radikálů (hydroxylové ionty ².OH) zúčastňujících se sekundárních reakcí.¹

Proces fotokatalýzy:



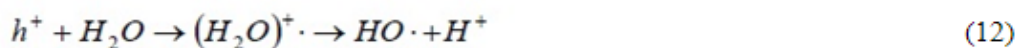
¹ citace [35] str. 8

Takto vygenerovaný elektron reaguje následovně:

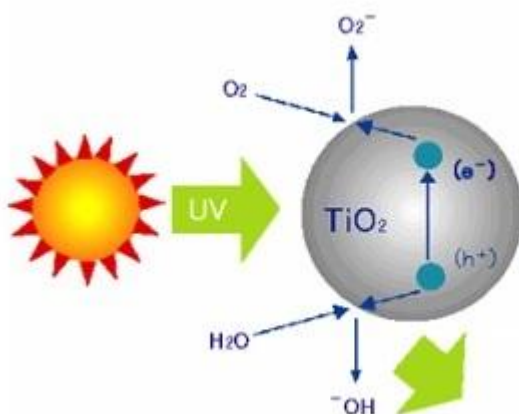


Nejprve vznikne superoxidový radikálový aniont $O_2^{\cdot -}$ a v kyselém prostředí z něho vznikne radikál HOO^{\cdot} . Rekombinací následně vznikne peroxid vodíku, který se redukuje na hydroxylový radikál HO^{\cdot} a anion OH^- . Organická látka RX se rozkládá na radikál R^{\cdot} a anion X^- . [10,36]

Díra generovaná ve valenčním pásu se zúčastní těchto reakcí:



Základem při práci s oxidem titaničitým je fotokatalýza. Jedná se o změnu aktivity povrchu některých látek v důsledku působení světelného záření. Světlo použitelné pro jeho fotokatalytickou reakci je omezeno na vlnovou délku, která musí být nižší než 388 nm. [31,37,38]



Obr. 5 Fotokatalýza: vznik páru elektron-díra [39]

Fotokatalytická reakce začíná vystavením oxidu titaničitého světlu a probíhá za přítomnosti kyslíku. Dochází k absorpci fotonu a přechodu elektronu z nevodivostního pásu do vodivostního. Proces se nazývá fotogenerace páru elektron-díra. [40]

2.2.1.1 Aplikace fotokatalýzy v textilu

Fotokatalytický účinek se používá na mnoha textilních materiálech (např. na tkaninách). Polyester smíchaný s nylonem má kladné výsledky jako tkanina s dezodoračním účinkem. Dezodorační činidlo bylo vyrobeno z oxidu titaničitého a dalších produktů. Při ozařování UV světlem rozloží TiO_2 téměř všechny organické sloučeniny (složené z uhlíku, vodíku a kyslíku).

Tkaniny neztratí svoji dezodorační schopnost ani po vyprání, dokonce je možné i textilie obarvit pro stabilitu TiO_2 na textilním materiálu. Začátek jejich použití je v nemocničním prostředí na prostěradla a restauračních zařízeních na záclony (např. proti cigaretovému zápachu). V dnešní době je možné nalézt i například antibakteriální prádlařské výrobky. [10,33,34]

2.2.1.2 Vědecké poznatky o poškození vláken fotokatalýzou

Schopnost textilních vláken poskytovat ochranu proti UV záření se liší v závislosti na struktuře daného vlákna. V závislosti na podmínkách (např. vlhkost vzduchu) jsou i různé typy reakcí dopadu UV na textilní materiály. Přírodní vlákna jako bavlna, hedvábí, vlna, mají nižší míru absorpce UV než syntetická vlákna. Přírodní pigmenty fungují jako absorbéry ultrafialového záření. Například přítomnost lignitu ve vláknech juty funguje jako přírodní tlumič [15]. Vlna silně absorbuje oblast UV záření 280 – 400 nm. Naopak vystavení hedvábí slunečnímu záření škodí jeho kvalitě, barvě, síle a pružnosti za sucha a mokra. [15]

Výzkum potvrdil vliv povětrnostních podmínek na textilní vlákna (je zde mnoho faktorů). Stejně jako okolní atmosféra i vlnová délka může mít dopad na rychlost rozkladu vláken. Publikovaná práce o fotodegradaci oxidované celulózy od G. Buschle-Diller a S. H. Zeronian shrnuje poznatky o vlivu UV záření z několika pohledů. Při popisu experimentu Edgertona [41] jde o objasnění mechanismu fotodegradace zvětrávání celulózových vláken a vlivu UV záření. Odpor materiálů vystavených venkovní expozici (povětrnostním vlivům, intenzitě dopadajícího světla slunečního záření) má velký význam pro kvalitu konečných produktů. Článek vyzdvihuje dva možné mechanismy pro fotochemickou degradaci. První je zahájen krátkou vlnovou délkou UV (2537 Å), které se následně vstřebává. Druhý požaduje přítomnost barviva nebo pigmentu. Ty absorbují světelnou energii a přenesou ji na okolní kyslík, který

reaguje s vlhkostí za vzniku peroxidu vodíku. Následuje oxidace celulózy. Do popisované publikované práce byly zahrnuty vlákna bavlny a hedvábí z hlediska pevnosti a tažnosti. Bavlna se rozkládá pomaleji než viskózní vlákna. Přítomnost oxidu titaničitého zde výrazně ovlivnila fotodegradaci hedvábí. Experimenty uvádějí výsledky nejen ve směru poškozování vláken s obsahem TiO_2 , ale naopak i o jejich ochraně.

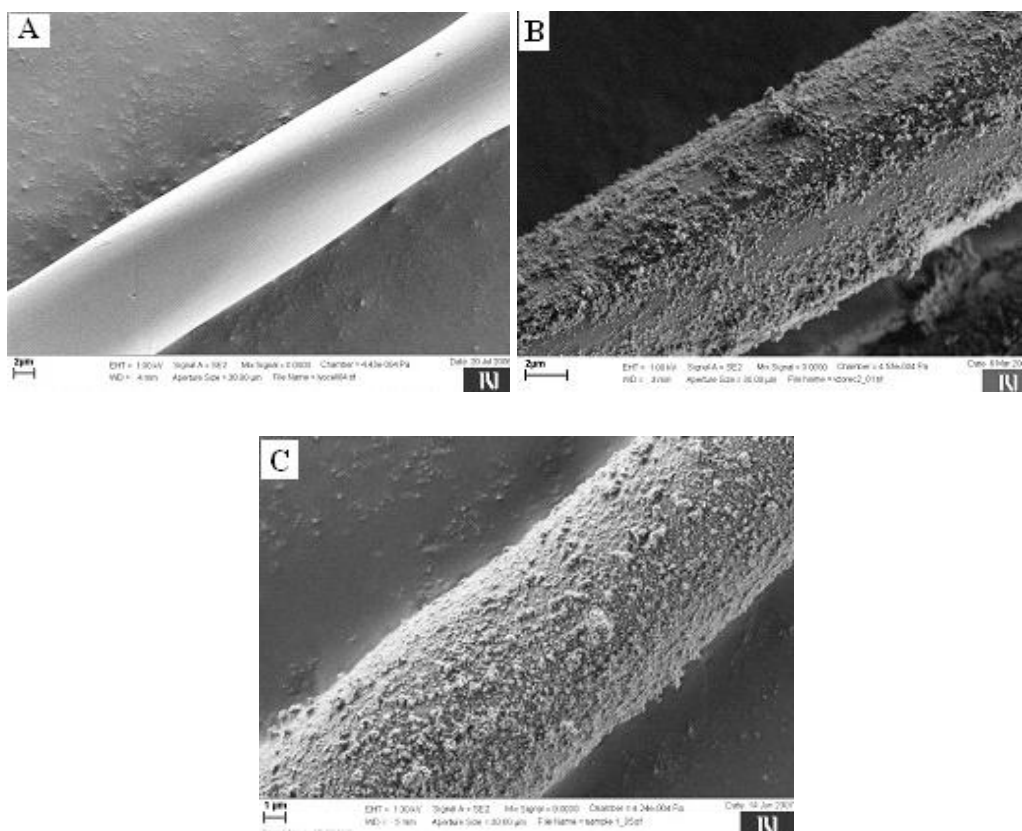
Dle výsledků studií provedených autory [42] došlo k závěru, že kyslejší vzduch a vyšší koncentrace znečišťujících látek v městských lokalitách zrychlí fotochemický rozklad. Další výsledky publikované v práci [43] přináší poznatky o menším poškozování vláken bavlny vlivem barviv, která jsou schopna absorbovat UV záření a tím k urychlení nebo zpomalení fotodegradace celulózy. Jedním z nejvíce používaných druhů barviv, pro zlepšení odolnosti proti světlu, jsou zde uváděna barviva kypová. Angster při výzkumu [44] konstatoval, že nízké koncentrace TiO_2 mají vliv při zrychlení fotodegradace. Zatímco při vyšších koncentracích by mohl TiO_2 působit jako UV absorbér a vlákna chránit.

Názory mnoha autorů, publikované v práci [43] se věnují druhu prostředí. Launer a Wilson nebo Phillips a Arthur Jr. se zabývají experimenty vlivu mokrého a suchého prostředí. Uvedli, že vodní páry mají vliv na míru poškození. Fotooxidační procesy probíhají rychleji v prostředí s vyšší vlhkostí. Zdůrazňují ovšem, že pozorované efekty mohou záviset i na použitém druhu zdroje světla.

Během specifických podmínek, jako jsou délka ozařování nebo druh světla, UV záření samo o sobě nezpůsobuje žádné patrné morfologické změny na polymerním povrchu. Nezbytnou podmínkou je pórovitost na povrchu podkladu, která umožňuje dobrou přilnavost TiO_2 na materiál. K rozkladu organických látek dochází na povrchu TiO_2 , který vytváří hydroxylové radikály v roztoku. Účinek degradace je ovlivněn blízkostí mezi TiO_2 částicemi a vystavením UV záření. [45]

V práci [21] se autoři N. Veronovsky a kol. zabývali studiem vlivu nanočástic na povrchu umělých celulózních vláken. Při vystavení vláken slunečnímu záření, oxidu a za předpokladu fotokatalýzy. V tomto smyslu je SiO_2 používám jako pojivo mezi TiO_2 částicemi a celulózními vlákny. Rozdíly v povrchové morfologii mezi TiO_2 a TiO_2 - SiO_2 vrstvy byly zjištěny pomocí SEM a jasně ukazují změny povrchu vlákna.

Při použití TiO_2 na vláknech mohou nežádoucí fotokatalytické reakce a vyvolané UV absorpce vést k určité degradaci materiálu. TiO_2 částice jsou snadno zachyceny na vláknech celulózy. Přítomnost SiO_2 přispívá k ochraně a regeneraci buničinových vláken. Samočisticí účinnost dvou vrstev je závislá na době osvětlení vzorku. Lze konstatovat, že přítomnost SiO_2 brání účinku TiO_2 částic, ale zároveň vlákna chrání. Hlavní dopad úpravy je na pokles mechanických vlastností. Můžeme konstatovat, že TiO_2 a celulóзовé materiály jsou perspektivní pro vytvoření samočištění textilu. [21]

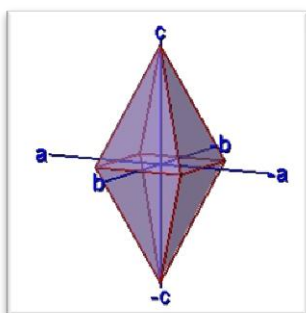


Obr. 6 Mikrostruktury vláken (SEM), zvětšení $2\mu\text{m}$ a) povrch celulóзовého vlákna; b) povrchová morfologie celulóзовého vlákna potaženého TiO_2 ; c) povrchová morfologie TiO_2 - SiO_2 kompozitu nano povlak na regenerovaných celulóзовých vláknech. [21]

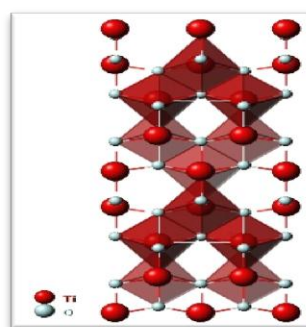
2.2.2 TiO₂

Titan je chemický prvek označený symbolem Ti a je zařazen do IV.A skupiny periodické tabulky s atomovým číslem 22. Patří k nejrozšířenějším kovům zemské kůry, je bílý, lehký a má vysokou odolnost proti korozi. Jeho nejstabilnější sloučeninou je oxid titaničitý TiO₂ (titanová běloba). [46]

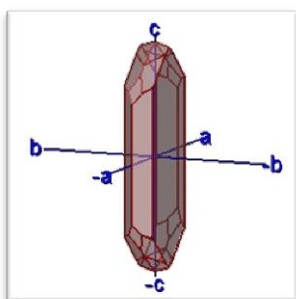
Oxid titaničitý se vyskytuje v přírodě ve třech krystalických formách: Brookit, Anatas, Rutil. V poškozování vláken UV zářením hraje hlavní roli jeho anatasová forma krystalické struktury. Druhá používaná forma TiO₂ je Rutil. [1]



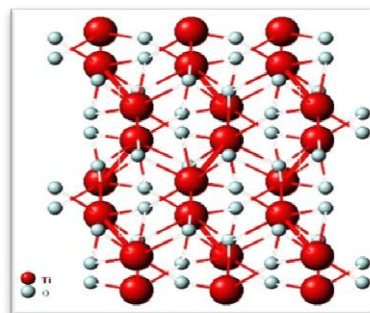
Obr. 7 Modifikovaný Anatas [47]



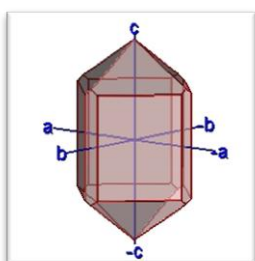
Obr. 8 Krystalická struktura Anatasu [47]



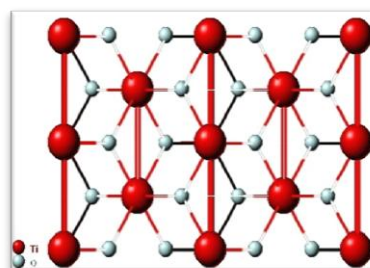
Obr. 9 Modifikovaný Brookit [47]



Obr. 10 Krystalická struktura Brookitu [47]



Obr. 11 Modifikovaný Rutil [47]



Obr. 12 Krystalická struktura Rutilu [47]

Všechny minerály jsou chemicky totožné, liší se jen uspořádáním atomů titanu a kyslíku. Jednorázové fáze oxidu titaničitého mají určité charakteristické vlastnosti.

Anatas je nízkoteplotní čtverečný minerál a má především intenzivní fotoaktivní účinky. Je modrý, hnědý až hnědočerný. Částice mají aktivní porézní povrch. [48] Rutil je šedý, červenohnědý až černý kosočtverečný minerál stabilní při vysokých teplotách, vykazuje slabší fotoaktivitu a je nerozpustný v kyselinách. [49] Další fáze brookit krystalizuje v ortorombické mřížce. Jedná se o žlutohnědý a křehký minerál. [47,50,51]

2.2.2.1 Fyzikální a chemické vlastnosti TiO₂

TiO ₂ : Titanium Ti = 59,94 %; Oxygen O = 40,06 %	
Bod varu (Boiling point)	T _v ≈ 2972 °C
Bod tání (Melting point)	T _t ≈ 1843 °C
Hustota (Density)	ρ ≈ 4,23 g/cm ³
Molární hmotnost (Molecular weight)	M ≈ 79,87 g/mol
Indexy lomu (Refractive index (n _D))	2.488(anatase); 2.583(brookite); 2.609 (rutile)
Pórovitost (Porosity)	0 %
Modul pružnosti (Modulus of elasticity)	230 GPa
Chemická stabilita (Chemical stability)	stabilní
Rozpustnost ve vodě (Solubility in water)	nerozpustný
Viditelné spektrum (Visible spectrum)	vysoká propustnost

Tab. 1 Fyzikální a chemické vlastnosti TiO₂ [48,49,52]

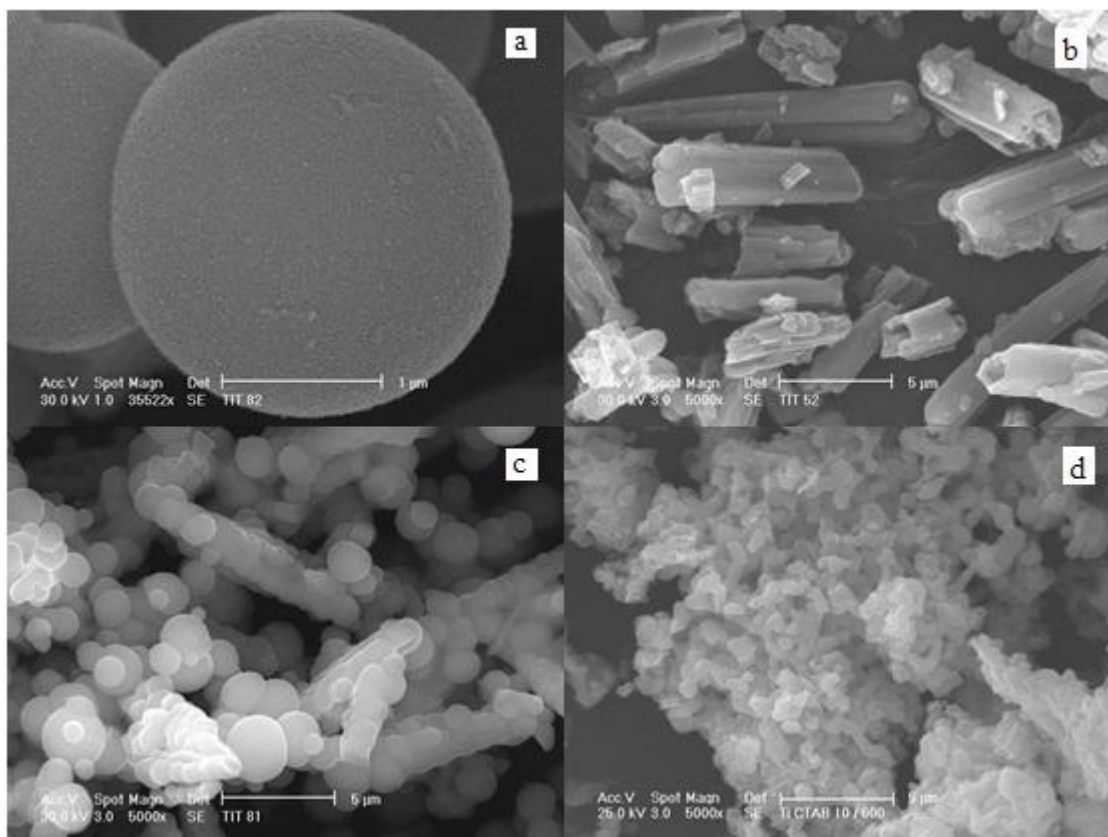
2.2.2.2 Použití TiO₂

TiO₂ je v praxi nejpoužívanější ve formě amorfního bílého prášku, má výrazný jas a schopnost rozptylovat světlo, je chemicky stálý, netoxický, s výraznou superhydrofilicitou (převážně u formy anatasu). Oxid titaničitý s anatasovou strukturou se používá od roku 1920 a s rutilovou strukturou od roku 1941. [53]

Pro své fotokatalytické schopnosti má široké spektrum využití. Používá se například v kosmetice, farmacii, ve zdravotnictví, stavebnictví, keramice nebo jako titanová běloba do nátěrových hmot.

Patří mezi nejkvalitnější bílé pigmenty. Vzhledem k tomu, že je chemicky stabilní a zdravotně nezávadný, používá se i v potravinářském průmyslu k bělení mléka,

přidává se do žvýkaček, omáček nebo sýrů. V Evropské unii je TiO_2 v anatasové formě povolen jako potravinářské barvivo (E171). [54]



Obr. 13 Mikrostruktury TiO_2 částic (SEM); a) sférické 1 μm , b, c) tyčinkovité 5 μm , d) mezoporézní 5 μm částice TiO_2 [54]

Jeho aktivace závisí na světelné energii. Pohlcuje UV záření a přeměňuje ho na teplo. TiO_2 ve formě brookitu nebo anatasu má několik oblastí aktivity, je mrazuvzdorný, antivirový, fungicidní a dezodorizační. V neposlední řadě má silně samočistící účinky pro vodu, čištění vzduchu, odstraňování exhalací a k ochraně povrchů. Společně s UV zářením rozkládá oxid titaničitý organické materiály, nečistotu, špínu, toxiny, bakterie, plísně, mikroby, zápach. [10,33,47]

Fotokatalytické nátěrové hmoty DetoxColor a Aktivní Nano Stěna vytvoří po nanesení vrstvu, která má schopnost rozkládat organické a částečně i anorganické částice. Nátěry s obsahem nanočástic reagují po působení UV-A záření o frekvencích rozsahu 340 až 370 nm. Vznikem fotokatalýzy dochází k detoxikaci otravných látek a vznikají látky netoxických sloučenin. Nátěry mohou snižovat přítomnost chemických látek způsobujících zápachy, zápach z cigaretového kouře a získávají se antimikrobiální účinky. [36,54]

2.2.2.3 Vliv vlhkosti na fotokatalytické vlastnosti TiO₂

Vlhkost je základní vlastností vzduchu. Vlhký vzduch je směs suchého vzduchu a určitého množství vody ve formě syté či přehřáté vodní páry, mlhy, jinovatky. Obsah vlhkosti ve vzduchu je různý. Textilní vlákna mění svou vlhkost podle vlhkosti okolního vzduchu. [20]

Absolutní vlhkost vzduchu a , ρ_v [kg/m³]

Absolutní (objemová) vlhkost vzduchu známá i jako hustota vodní páry nebo měrná hmotnost vodní páry. Vyjadřuje hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu vzduchu. [55]

$$\rho_v = \frac{m_v}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (15)$$

Relativní vlhkost vzduchu φ [%]

Relativní neboli poměrná vlhkost vzduchu udává poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení. Udává míru nasycení vzduchu v procentech. Vysoká relativní vlhkost vzduchu je ideálním prostředím pro růst plísní a rozmnožování roztočů naopak nízká znamená suchý vzduch a dráždění sliznice. [56]

Pokud m je hmotnost vodní páry, která je ve vzduchu obsažena a M je hmotnost vodní páry, kterou by obsahoval stejný objem vzduchu, kdyby byl při stejné teplotě a tlaku vodními parami nasycen, pak lze relativní vlhkost vzduchu vyjádřit jako:

$$\varphi = 100 \frac{m}{M} \text{ [%]} \quad (16)$$

Chemické a biologické poškození textilu (např. napadení plísněmi) může urychlovat vysoká relativní vlhkost (nad 66 %). Poklesem relativní vlhkosti pod 20% ztrácí vlákna pružnost a může dojít k jejich přeschnutí (což platí jen pro některá textilní vlákna). Vzduch za určité teploty může obsahovat jen určité množství vodních par. Čím je teplota vzduchu (a tím i páry) vyšší, tím více páry může v jednotce objemu být, aniž začne pára kapalnět. Pokud se vzduch začne ochlazovat, vodní páry začnou kondenzovat. [20]

Absolutní vlhkost vzduchu a relativní vlhkost vzduchu jsou veličiny určující stav páry nezávisle na vzduchu. Měrná vlhkost je poměr hmotnosti vodní páry a suchého vzduchu. Dalšími možnostmi určení vlhkosti vzduchu jsou teplota rosného bodu a teplota mokrého teploměru. Tyto veličiny se dají získat měřením. [55,56]

2.3 Životní prostředí

Jedním ze stále diskutovaných problémů současnosti je zhoršující se stav životního prostředí. Vždy je důležité prověřit, v souvislosti s chemickými postupy nových technologií, dopad na životní prostředí. Obor titanové fotokatalýzy přispívá ke zlepšení životního prostředí. Za využití oxidačních procesů, které jsou přítomny v přírodě, pomáhá fotokatalýza urychlovat rozklad znečišťujících složek přítomných v životním prostředí. Ultrafialové záření je zcela neškodný, ekologický a především levný způsob dezinfekce. Samočisticí schopnost je vyvolána pomocí slunečního světla (v exteriérech) nebo umělého záření (v interiérech).

Například nanesením substance TiO_2 na povrch keramických obkladů předcházíme dezinfekci k tvorbě a hromadění bakterií. Vzhledem k vysokému indexu lomu světla je TiO_2 používán jako bílý pigment do nátěrových hmot, kde odstraňuje zápach, špínu, likviduje bakterie, odbourává dioxidy. Výfukové plyny negativně ovlivňují vzduch, půdu i vodu. Přítomnost TiO_2 snižuje množství zdraví škodlivých organických a anorganických látek v atmosféře.

Jedná se o prvek, který dokáže aktivně přispívat ke zlepšení životního prostředí. Nanočástice oxidu titaničitého jsou zdravotně nezávadné. Tvoří součást prachových částic pigmentu používané titanové běloby. TiO_2 je využíván i jako potravinářské barvivo E171 k bělení past, mléka či sýrů. Negativní vliv na zdraví lidí nebyl prokázán. [13]

3. Experimentální část

Tato část diplomové práce je zaměřena na vlastní popis materiálů, laboratorních přístrojů a metod výzkumu. Popisuje důležité fáze experimentů probíhajících v laboratořích TUL a následné vyhodnocení získaných výsledků.

3.1 Materiály používané pro experimenty

Mezi materiály, které byly použity při experimentech, patří:

Bavlněná doprovodná tkanina pro zkoušení textilií podléhá normě ČSN 800101. Materiálový bavlněný vzorek je o rozměrech 30 x 12 cm a hmotnosti 4,093 g má plošnou hmotnost $\rho_s = 0,1138 \text{ [kg/m}^2\text{]}$. Dostava vzorku D_o [280/10cm]; D_u [300/10cm]. Vzorek byl dodán Katedrou textilní chemie a pochází z podniku Tiba, Dvůr Králové nad Labem.

Polyesterová doprovodná tkanina, která je určena pro zkoušení textilií, byla poskytnuta laboratoří Katedry textilní chemie TU v Liberci. Vzorek podléhá normě ČSN 800108. Rozměry daného PES vzorku jsou 30 x 12 cm, hmotnost vzorku 4,330 g a plošná hmotnost vzorku $\rho_s = 0,1194 \text{ [kg/m}^2\text{]}$. Zjištěná dostava tkaniny je D_o [220/10cm]; D_u [190/10cm]. Materiál pochází ze státního podniku Perla, Ústí nad Orlicí.

Polyamidová doprovodná tkanina pro zkoušení textilií byla poskytnuta Katedrou textilní chemie TUL. Rozměry PAD tkaniny jsou 30 x 12 cm, hmotnost polyamidového materiálu 2,910 g a plošná hmotnost vzorku $\rho_s = 0,0805 \text{ [kg/m}^2\text{]}$. Dostava nití tkaniny D_o [340/10cm]; D_u [260/10cm].

Polypropylenová doprovodná tkanina o rozměrech 30 x 12 cm a hmotnosti 6,220 g má plošnou hmotnost $\rho_s = 0,1722 \text{ [kg/m}^2\text{]}$. Dostava nití D_o [90/10cm]; D_u [90/10cm]. Polypropylenová tkanina byla také poskytnuta Katedrou textilní chemie TU v Liberci.

3.2 Použité laboratorní přístroje

3.2.1 UV světelné zařízení

Speciální UV reflektor je pro nasvícení menších ploch. Byl umístěn v připraveném ochranném experimentálním boxu, aby nedocházelo k nežádoucímu osvětlení okolí laboratoře. Na plochu materiálu s nanesenou suspenzí TiO_2 bylo zajištěno nasvícení umělým zdrojem ultrafialového světla.



Obr. 14 Experimentální box s UV zářivkou

Vzdálenost UV zářivky od materiálu v uzavřeném klimatizovaném prostředí se rovná 45 cm. Napájecí napětí používané UV zářivky je 500 V a Příkon 80 W u UV-A a 8 W u UV-B záření.

Proud UV žárovky odpovídá u UV-A $18,07 \text{ mW/cm}^2$ a UVB $4139 \text{ }\mu\text{W/cm}^2$.

Ozařování materiálů 30 minut pod touto UV zářivkou se rovná ozařování materiálů po dobu 100 hodin na přírodním slunečním světle. Nejdelší doba ozařování vzorků byla 600 minut, což odpovídá vystavení materiálu slunečním paprskům po dobu 2000 hodin.

3.2.2 Ultrazvukový homogenizátor



Za účelem dispergace částic TiO_2 byl použit ultrazvukový homogenizátor Sonopuls HD 3200 německé firmy Bandelin Electronics. Přístroj Sonopuls umožňuje homogenizaci směsí o objemech od 2 ml do 1000 ml s volbou amplitudy od 10 do 100 %. Bandelin Sonopuls je homogenizátor na bázi ultrazvuku, pro zmenšení shluku menších částic. [57]

Obr. 15 Ultrazvukový homogenizátor v laboratoři TUL

3.2.3 Fulár Mathis



Jedná se o přístroj určený k nanášení barviva a dalších úpravnických prostředků na textilii. Textilie probíhá strojem v plné šíři, bez lomů a záhybů. Přebytečná tekutina je odmačknuta mezi válci, na které působí tlak.

Obr. 16 Fulár Mathis v laboratoři TUL

3.2.4 Sušící zařízení



Sušící zařízení slouží k usušení vzorků po nanesení suspenze TiO_2 na přístroji fulár.

Teplota sušení 110 °C.

Obr. 17 Sušící zařízení v laboratoři TUL

3.2.5 Vega TS 5130 - Rastrová elektronová mikroskopie

Vega TS 5130 je počítačem řízený elektronový mikroskop, používaný pro pozorování povrchů, zaznamenání a archivování obrazů. Obrazy mohou být vytištěny nebo předány k dalšímu počítačovému zpracování. Zvětšení může být provedeno 20krát až 500 000krát.

Na povrch materiálu vzorku je před uzavřením do rastrového elektronového mikroskopu naprášeno 8-karátové technické zlato. Ve fyzikální části mikroskopu vzniká obraz povrchu vzorku. Rastrovací mikroskop zobrazuje zkoumaný objekt pomocí tenké elektronové sondy. Přístroj je dostupný na Katedře textilních materiálů TU v Liberci.



Obr. 18 Rastrovací elektronový mikroskop s motorizovaným manipulátorem [58]

3.2.6 Labtest 2.05 - Trhací přístroj

Před vlastním měřením je nutné vzorky připravit podle ustanovení norem. Použitá norma: ČSN EN ISO 2062 80 0700: Textilie – nitě na návinech – zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu.

Definice normy:

Tržná síla (pevnost při přetrhu) - maximální síla působící na vzorek při zkoušce tahem, při které dojde k přetrhu. Vyjadřována v [cN].

Prodloužení při přetrhu – přírůstek délky vzorku vyvolaný tržnou silou. Vyjádřen v procentech.

Poměrná pevnost při přetrhu – poměr tržné síly nitě k její délkové hmotnosti [cN/tex].

Labtest 2.05

Jedná se o přístroj pro měření pevnosti a tažnosti plošných textilií, šicích nití a švů dostupný na Katedře oděvnictví TU v Liberci. Rám je tvořen horním pevným příčnickem, stolem a pohybovým příčnickem s horním a spodním pracovním stolem. Součástí rámu stroje je elektronická řídicí a vyhodnocovací část.

Dolní část přístroje Labtest 2.05 slouží pro měření pásků a tkanin. V horním pracovním



prostoru přístroje se provádí měření jednotlivých nití. Vzorky se vkládají do horních a dolních nit'ových čelistí a řádně se musí utáhnout. Přístroj je ovládán pomocí počítače a výsledky jsou po skončení zkoušky (přetrhu nitě) zaznamenány.

Obr. 19 Trhací přístroj Labtest 2.05

Upínací délka: 200 mm

Rychlost posuvu příčnicku: 250 mm/min

Rychlost pro předpětí: 50 mm/min

Vzorek upnut do svorek s předpětím: 0,1 cN/tex – počáteční stav

3.2.7 RTG fluorescenční spektrometr ElvaX II

Rentgenový fluorescenční spektrometr ElvaX II je určen pro rychlou prvkovou analýzu.



ElvaX II je dostupný na Katedře chemie FP TUL. Jedná se o přístroj pro kvalitativní a kvantitativní analýzu různých vzorků (slitin, prášků, roztoků, ...). Přístroj umožňuje analyzovat jednotlivé prvky a do vzorkovacího pole je možné umístit vzorek o rozměrech 10 x 10 x 5 cm. [59]

Obr. 20 Rentgenový fluorescenční spektrometr ElvaX II

Spektrofotometrické proměření folie

Při experimentálním výzkumu byla použita tenká folie, u které byla proměřena propustnost UV světla. Měření se provádělo pro zhodnocení, zda tenká folie propouští UV záření, které je v rozmezí vlnových délek 290 – 400 nm. Proměření spektra UV-VIS používané folie bylo provedeno na Katedře chemie FP TUL (Obr. 21). Bylo zjištěno, že pro průměrnou vlnovou délku 301,8587 nm, která spadá do UV oblasti, propouští folie 81,7 % záření. Folii lze použít pro ozařování vzorků uvnitř experimentálního boxu s UV světlem.

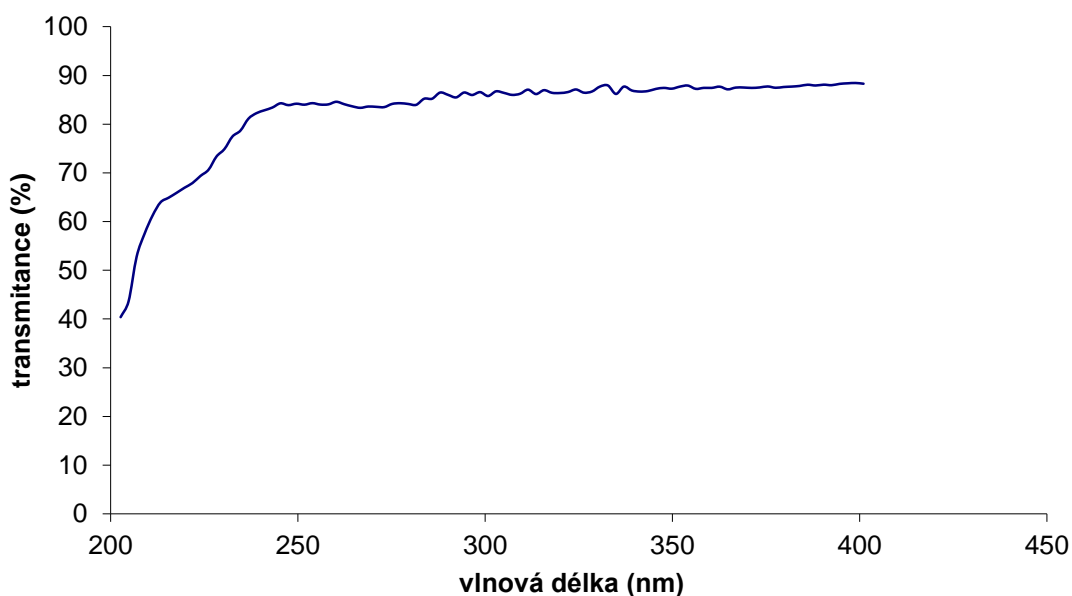
Parametry folie

Plošná hmotnost: 17,5 g/m²

Tloušťka: 20 μm

Šíře/délka: 0,5 m/300 m

V oblasti 290 – 400 nm propouští folie téměř až 90 % UV záření.



Obr. 21 Závislost absorpance na vlnové délce

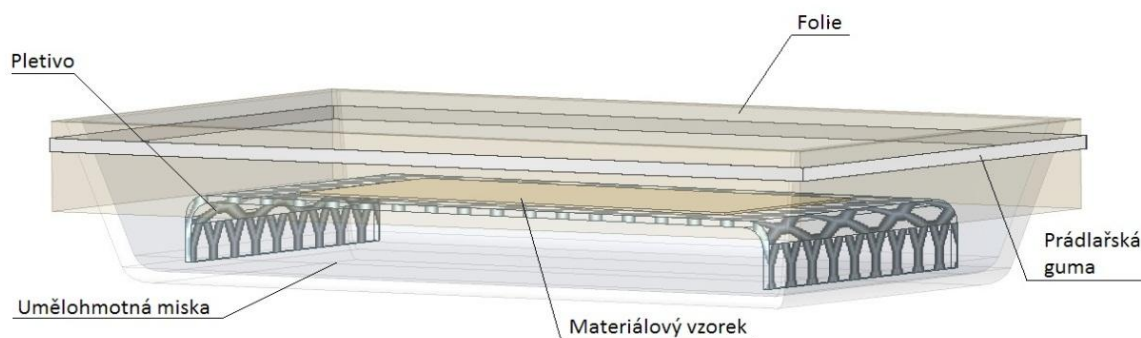
Folie byla natažena přes umělohmotnou miskou a přichycena prádlařskou gumou sešitou nití. Společně plní funkci udržení požadované relativní vlhkosti vzduchu v uzavřeném prostředí umělohmotné misky.

Umělohmotné průsvitné misky s pletivem, folií a prádlačkou gumou

Pro experimentální účely bylo vyrobeno zařízení na udržení relativní vlhkosti vzduchu v uzavřeném prostoru.

Jedná se o umělohmotnou průsvitnou misku o rozměrech 30 x 21 x 6,3 cm, jejíž horní část je přetažená tenkou folií. Do misky bylo vloženo po stranách 2 cm zaoblené pletivo, aby nedocházelo ke kontaktu vzorků s vodou nebo silikagelem uvnitř uzavřeného prostředí. Na povrch pletiva byl položen vzorek materiálu (ba, PES, PP, PAD). Pod pletivo byl umístěn silikagel nebo nalita H_2O dle požadovaného stupně relativní vlhkosti vzduchu uvnitř experimentálního zařízení.

Umělohmotná miska byla přetažena napnutou tenkou folií a upevněna nití sešitou prádlačkou gumou, pro udržení požadované relativní vlhkosti vzduchu uvnitř uzavřeného prostoru.



Obr. 22 Náskres 3D



Obr. 23 Umělohmotná průsvitná miska a použitá folie

Uvnitř uzavřeného prostoru misky s folií máme nasycené vodní páry a blížíme se k 0 % nebo 100 % relativní vlhkosti vzduchu. Jedná se o uzavřený systém s volnou vodní hladinou, který je klimatizovaný.

V laboratoři jsou k dispozici přístroje na měření vlhkosti – Remote Thermo Hydro (433 MHz). Mohli jsme se přesvědčit o tom, že materiál má skutečně za laboratorních podmínek požadovanou relativní vlhkost vzduchu (Příloha 1, Tab. 3).

3.3 Použité metody

3.3.1 Praní dodaných textilních vzorků materiálů

Vzorky materiálů (ba, PES, PAD, PP), dodané Katedrou textilní chemie, byly postupně vyprány v prací lázni. Lázeň obsahovala 6 l H₂O a prací prostředek Syntapon ABA 2 g/l. Praní probíhalo po dobu 30 minut při teplotě 80 °C.

Následně byly vzorky vyprány střídavě ve studené a teplé vodě a usušeny volně na vzduchu po dobu 24 hodin. Poté vyžehleny napařovací žehličkou při 150 °C přes bavlněnou tkaninu a uschovány v polyetylenovém uzavíratelném sáčku.

Klimatické podmínky: T = 26 °C, φ = 37 %

3.3.2 Příprava zásobních roztoků TiO₂

Při práci byly použity tyto nástroje: Digitální váha, umělohmotná lžice, kádinka, odměrná baňka o objemu 150 ml, skleněná tyčinka.

Titanium Dioxide Aeroxide TiO₂ P25; dostupný v laboratoři Katedry textilní chemie

Příprava suspenze TiO₂ = 10 g TiO₂ / 1 l H₂O → 0,5 g TiO₂ / 50 ml

Oxid titaničitý byl navážen v kádince pomocí laboratorních vah a dolit studenou H₂O na potřebné množství 50 ml. Následná suspenze byla promíchána v přístroji Bandelin Sonopuls po dobu 1 min, kde se pomocí ultrazvuku shluky nanočástic zmenšily.

Klimatické podmínky: T = 26 °C, φ = 37 %

3.3.3 Příprava fotokatalytické vrstvy na materiálu

Fotokatalytické vrstvy byly nanášeny na textilní tkaniny ve formě suspenze oxidu titaničitého. Používaným fotokatalyzátorem byl Aeroxide TiO₂ P25. Z důvodu snížení nežádoucího osvětlování vzorků v laboratoři byly materiály namáčeny postupně, v menším množství suspenze (0,5 g TiO₂/50 ml H₂O).

Vzorky byly naklocovány v připravené suspenzi a na přístroji Fulár Mathis odmačknuty. Proběhlo následné zasušení vzorků při teplotě 110 °C v sušícím zařízení. Vzorky byly uschovány v uzavíratelném polyetylenovém sáčku a v tmavém prostředí laboratoře.

Klimatické podmínky v laboratoři: T = 25 °C, φ = 38 %

Množství TiO₂: 10 g/l l

Postup nanesení TiO₂: suspenze v H₂O, klocování, zasušení

Rychlost průtahu na Fuláru: 1 m/min

Přítlak Fuláru: 4 kN

Výpočet odmačku na laboratorním přístroji Fulár Mathis:

$$\frac{m(g)\text{mokrý} - m(g)\text{suchý}}{m(g)\text{suchý}} \times 100 = [\%] \quad (17)$$

Materiál	Hmotnost [g] suchý vzorek	Hmotnost [g] mokrý vzorek	Odmačk [%]
ba	4,09	7,75	89
PES	4,33	7,10	63
PAD	2,91	3,96	36
PP	6,22	9,53	53

Tab. 2 Výpočet odmačku na přístroji Fulár Mathis

3.3.4 UV záření a různé relativní vlhkosti vzduchu

Pohlcování vlhkosti, jakož i ztráta vlhkosti vláken závisí nejen na jejich druhu a způsobu úpravy, ale i na možnosti pronikání dané relativní vlhkosti do materiálu jako celku (tkaniny) nebo do jednotlivých přízí.

Pro tuto práci byly použity materiály ve formě tkaniny. Relativní vlhkosti vzduchu jsou vymezeny na tzv. suché prostředí (3 – 11 % relativní vlhkost vzduchu), vlhké prostředí (58 – 85 % relativní vlhkost vzduchu) a mokré prostředí (85 – 96 % relativní vlhkost vzduchu) uvnitř experimentálního zařízení.

3.3.4.1 Suché prostředí

Pro dosažení nízké relativní vlhkosti vzduchu byl použit Silikagel ve formě granulátu. Jedná se o pórovitou formu oxidu křemičitého (SiO_2), který se používá při sušení vzduchu, plynů a organických kapalin. Díky jeho porózitě (okolo $800 \text{ m}^2/\text{g}$) je užívám jako pohlcovač vlhkosti. Dokáže snadno absorbovat vodu (pojme jí až o 20 % více než je jeho hmotnost). S příměsí indikátoru vlhkosti změní po nasycení barvu. Je nehořlavý, netoxický, chemicky nereagující, neutrální a odolný vůči kyselinám [60,61]. Silikagel byl dostupný na Katedře textilní chemie.

Během přípravy testů byla na vzorky všech materiálů (ba, PES, PAD, PP) nanесena připravená suspenze oxidu titaničitého. Bezprostředně poté byly vzorky nakločovány na Fuláru Mathis a usušeny při 110°C v sušicím zařízení. Následně uschovány v uzavíratelném polyetylenovém sáčku v tmavém prostředí laboratoře.

Dále byly vzorky postupně zpracovány v uzavřeném prostředí. Materiál byl umístěn na 2 cm vyvýšené pletivo v plastové misce, která obsahovala 10 g Silikagelu. Vlhkost vzduchu uvnitř udržovala tenká folie přetažená přes plastovou misku a upevněná prádlařskou gumou. Následovalo klimatizování vzorků po dobu 1 - 8 hod v tmavém prostředí laboratoře. Během klimatizování vzorku se relativní vlhkost uzavřeného prostoru snižovala z 11 % po první hodině až na 3 % po 8 hodinách klimatizování. Suché prostředí je tedy v této práci vymezeno na 3 - 11 % relativní vlhkosti vzduchu (Příloha 1, Tab. 3).

Po klimatizování v suchém prostředí byly plastová miska s materiálem umístěny uvnitř experimentálního boxu a ozařovány UV světlem v různých časových délkách. Ozařování UV probíhalo v délkách 0', 30', 60', 90', 180', 270' a 600 minut. Po ozáření byl materiál uschován v uzavíratelném polyetylenovém sáčku pro následné zjišťování poškození a změn na povrchu materiálů.

3.3.4.2 Vlhké prostředí

Pro získání vlhkého prostředí, střední relativní vlhkosti vzduchu uvnitř uzavřeného prostoru, byla použita H₂O (250 ml).

Všechny vzorky (ba, PES, PAD, PP) byly nejprve nanесeny připravenou suspenzí TiO₂, naklocovány na fuláru a usušeny při 110 °C v sušícím zařízení. Následně všechny vzorky uschovány v uzavíratelných polyetylenových sáčcích ve tmavém prostředí laboratoře.

Vzorky připravených materiálů byly postupně odebírány a zpracovávány. Materiály byly pokládány na 2 cm od dna vyvýšené pletivo. V umělohmotné misce byla na dno přidána voda (250 ml), která nám zajišťovala tzv. vlhké prostředí. Vlhkost uvnitř byla udržována fólií přetaženou přes misku. Pro utěsnění prostoru a udržení požadované relativní vlhkosti byla k misce tenká folie upevněna prádlačkou gumou.

Následovalo klimatizování vzorků po dobu 1 - 8 hod v tmavém prostředí laboratoře. Relativní vlhkost vzduchu ve vlhkém prostředí se pohybovala od 58 % po hodině klimatizování až na 85 % vlhkosti po 8 hodinách klimatizování. Vlhké prostředí v uzavřeném prostoru je zde vymezeno na 58 – 85 % relativní vlhkosti vzduchu uvnitř experimentálního zařízení umělohmotné misky spolu s fólií (Příloha 1, Tab. 3).

Po klimatizování ve vlhkém prostředí byla umělohmotná miska s materiálem umístěna do experimentálního boxu a probíhalo ozařování v různých časových délkách. Doba ozařování se pohybovala v délkách 0', 30', 60', 90', 180', 270' a 600 minut. Po ozáření byl materiál opět uzavřen v polyetylenovém sáčku a uschován pro následné zjišťování poškození a změn na povrchu materiálů.

3.3.4.3 Mokr  prostředí

Pro zajištění vysok  relativní vlhkost vzduchu uvnitř experimentálního zařízení byla do um lohmotn  misky p řidána H₂O (250 ml) a zároveň byl klimatizovan  matri l na svém povrchu vodou zvlh en.

P řipraven  vzorky (ba, PP, PES, PAD) byly p ředem nanесeny suspenzí TiO₂, naklocovány na fuláru a usušeny p ř  110  C v sušícím zařízení. Poté byly vř chny vzorky uschovány v polyetyl nov m uzav rateln m sáčku a umístěny v tmavém prostředí laboratoře pro n sledn  experimenty.

Matri ly vř ch vzorků byly p řed vložen m do klimatizovaného systému zvlhčeny pomocí rozprařova e v poměru 2 g H₂O na 1 g matriálu. Um lohmotn  miska obsahovala 250 ml H₂O. P řipraven  vzorky byly v misce položeny na 2 cm vyv řsen  pletivo. Vlhkost uvnitř zajiřřovala opět tenk  fólie p řetažen  p řes umělohmotnou misku. Upevn n m folie p ř dlařskou gumou bylo dosažen  udržení relativní vlhkosti vzduchu pro tzv. mokr  prostředí uvnitř uzavřeného prostoru.

Následovalo klimatizování vzorků po dobu 1 – 8 hod v tmavém prostředí. Relativní vlhkost uvnitř uzavřeného systému se pohybovala v rozmezí od 85 % po jedné hodině klimatizování ař k 96 % po osmi hodinách klimatizování (P ř loha 1, Tab. 3).

Po klimatizování vzorků v mokr m prostředí byla um lohmotn  miska s matri lem umístěna do experimentálního boxu a probíhalo ozařování. Doba ozařování UV z ř vkou byla po  asov  délky 0', 30', 45', 60', 90', 180', 270' a 600 minut. N sledn  byl vzorek odebrán z klimatizovaného prostředí a uzavřen v polyetyl nov m sáčku pro pozd jř  zjiřřov n  pořkozen  vláken a změn na povrchu matriálu.

3.4 Experimenty pro zjištění poškození vláken vlivem fotokatalytických procesů

Vybrané vzorky textilních materiálů byly podrobeny analytickým metodám:

- Elektronová rastrovací mikroskopie (SEM)
- Pevnost a tažnost materiálů
- Nasákavost materiálů
- Povrchová analýza rentgen fluorescence (XRF)

3.4.1 Elektronová rastrovací mikroskopie (SEM)

Pomocí SEM byly analyzovány tyto vzorky materiálů:

- a) původní materiály (ba, PES, PAD, PP) bez obsahu suspenze oxidu titaničitého,
- b) materiály (ba, PES, PAD, PP) s obsahem suspenze oxidu titaničitého,
- c) původní materiály (ba, PES, PAD, PP) bez obsahu suspenze oxidu titaničitého po UV ozařování v různých časových délkách (90', 270' a 600') a při různých relativních vlhkostech vzduchu (suché, vlhké, mokré prostředí),
- d) materiály (ba, PES, PAD, PP) s obsahem suspenze oxidu titaničitého, s následným UV ozářením v různých časových délkách (90', 270', 600') a při různých relativních vlhkostech vzduchu (suché, vlhké, mokré prostředí),
- e) vyprané materiály (b, d).

Připravené vzorky materiálů byly zdokumentovány (nafoceny) na rastrovacím elektronovém mikroskopu (SEM) na Katedře textilních materiálů. Bylo použito urychlovací napětí 20 kV a obraz byl sledován použitím BSE detektoru. Všechny vzorky podrobené SEM mikroskopii jsou zdokumentovány fotografiemi se zvětšením 20 μm (Příloha 7, Tab. 13, 14, 15, 16).

3.4.2 Měření pevnosti a tažnosti materiálů

Zkoušce pevnosti a tažnosti byly exponovány tyto vzorky materiálů:

- a) původní materiály (ba, PES, PAD, PP) bez obsahu suspenze oxidu titaničitého,
- b) materiály (ba, PES, PAD, PP) s obsahem suspenze oxidu titaničitého,
- c) původní materiály (ba, PES, PAD, PP) bez obsahu suspenze oxidu titaničitého po UV ozařování v různých časových délkách (90', 180', 270' a 600') a při různých relativních vlhkostech vzduchu (suché, vlhké, mokré prostředí),
- d) materiály (ba, PES, PAD, PP) s obsahem suspenze oxidu titaničitého, s následným UV ozářením v různých časových délkách (90', 180', 270' a 600') a při různých relativních vlhkostech vzduchu (suché, vlhké, mokré prostředí).

Vzorky všech materiálů byly vystaveny zkoušce pevnosti a tažnosti jednotlivých přízí na trhačím přístroji Katedry oděvnictví TUL.

Jednotlivé příze byly upnuty do horních čelistí trhačího stroje LabTest 2.05 a řádně utáhnuty. Šíře horních čelistí byla nastavena na 200 mm. U všech zkoušených přízí byla upínací délka 200 mm. Rychlost posuvu příčnicku stanovena na 250 mm/min.

Textilie a jednotlivá vlákna nepohlcují vlhkost stejně. To závisí na jejich chemickém složení a struktuře. K hodnocení a srovnávání byly vzorky podrobeny pevnosti při přetržení a prodloužení přízí. Materiály byly postupně vystaveny zkoušce na trhačím stroji a výsledné hodnoty pevnosti a tažnosti pečlivě zapisovány do tabulek (Příloha 3, Tab. 8, 9, 10, 11).

3.4.3 Zjištění savosti materiálů

Zkoušce nasákavosti byly exponovány tyto vzorky materiálů:

- a) původní materiály (ba, PES, PAD, PP) bez obsahu suspenze oxidu titaničitého,
- b) materiály (ba, PES, PAD, PP) s obsahem suspenze oxidu titaničitého,
- c) původní materiály (ba, PES, PAD, PP) bez obsahu suspenze oxidu titaničitého po UV ozařování v různých časových délkách (90', 180', 270' a 600') a při různých relativních vlhkostech vzduchu (suché, vlhké, mokré prostředí),
- d) materiály (ba, PES, PAD, PP) s obsahem suspenze oxidu titaničitého, s následným UV ozářením v různých časových délkách (90', 180', 270' a 600') a při různých relativních vlhkosti vzduchu (suché, vlhké, mokré prostředí),
- e) vyprané materiály (b, d).

Po zkouškách savosti byly vzorky materiálů s obsahem suspenze oxidu titaničitého (neozářené) a materiály po UV ozáření s obsahem TiO_2 (v délkách ozařování 90', 270' a 600 minut ve třech různých prostředích relativní vlhkosti vzduchu) vyprány v prací lázni s obsahem pracího prostředku Syntapon ABA. Praní proběhlo po dobu 5 minut při teplotě 60 °C. Následovalo sušení vzorků v sušícím zařízení při teplotě 90 °C. Během procesu praní došlo k částečnému odstranění TiO_2 z povrchu materiálů.

Zkouška savosti materiálů probíhala v laboratoři na experimentálním zařízení. Vzorky o délce 110 mm a šířce 10 mm byly postupně smáčeny v kádince s obsahem H_2O . Sací výška vzorků byla u všech stejná, 5 mm. Byla sledována nasákavost materiálů po dobu 5 minut a každou minutu byly hodnoty zapisovány do tabulek (Příloha 2, Tab. 4, 5, 6, 7).

3.4.4 Povrchová analýza rentgen fluorescence (XRF)

Pro zjištění množství TiO_2 odstraněného z povrchu vláken vypráním, byly vzorky analyzovány pomocí metody XRF.

Zkoušky XRF byly podrobeny tyto materiály:

- a) původní materiály (ba, PES, PAD, PP) bez obsahu suspenze oxidu titaničitého,
- b) materiály (ba, PES, PAD, PP) s obsahem suspenze oxidu titaničitého,
- c) materiály (ba, PES, PAD, PP) s obsahem suspenze oxidu titaničitého, s následným UV ozářením v různých časových délkách (90' a 600') a při různých relativních vlhkostech vzduchu (suché, vlhké, mokré prostředí),
- d) vyprané materiály (ba, PES, PAD, PP) od obsahu suspenze oxidu titaničitého (neozářené) a s UV ozářením v různých časových délkách (90' a 600') při různých relativních vlhkostech vzduchu (suché, vlhké, mokré prostředí).

Do prací lázně byl do H_2O (6 l) přidán prací prostředek Syntapon ABA (2 g/l), lázeň byla následně zahřáta na 60 °C. Vzorky byly v lázni prány po dobu 5 min, následně vymáhány střídavě v čisté teplé a studené vodě a usušeny při 90 °C v sušícím zařízení.

Měření probíhala na přístroji ED-XRF ElvaX firmy Elvatech při následujícím nastavení:

doba buzení: 100 s

napětí na rtg: 45,0 kV

filtr: A1 800 μm

budící proud na rtg: PP 10 μm ; PES 20 μm ; PAD 20 μm ; ba 18 μm .

Prvková analýza stanoví, jestli ozařování umožňuje snadnější vyprání. Experimentem odpovíme, zda se materiál polymeru mění pod nanočásticemi a kolik TiO_2 na materiálech zůstává.

Polyester a polyamid obsahovali tzv. matovací prostředky. Přítomnost oxidu titaničitého na původních materiálech tzv. pozadí bylo nutné odečíst.

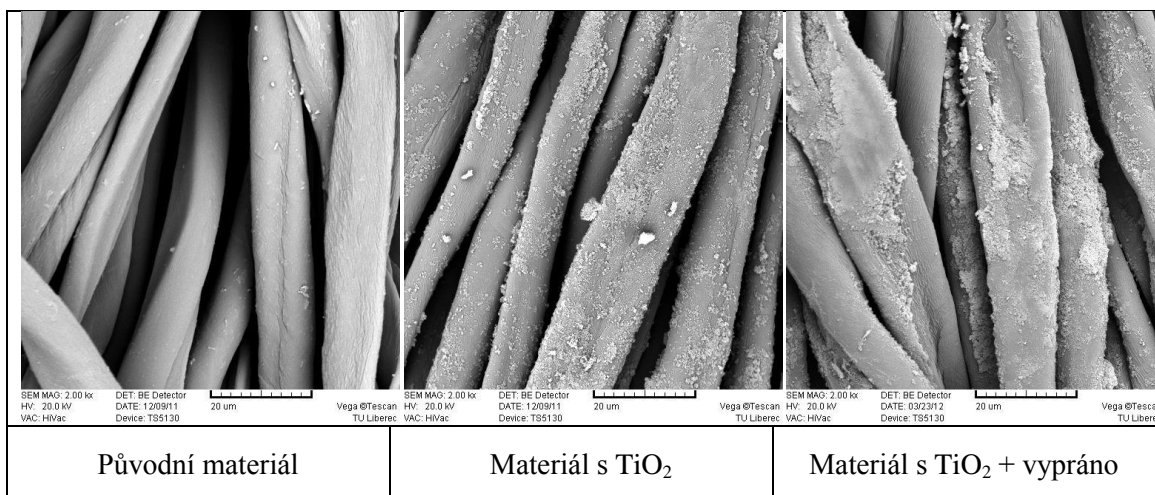
(Příloha 4, Tab. 12)

4. Výsledky a diskuse

4.1 Bavlna

4.1.1 Mikrostruktura materiálu

Původní bavlněné vlákno je tvaru zploštělé stužky zakroucené šroubovitým zákrutem se zesílenými okraji. Tato zakroucení jsou typickým znakem vyzrálé bavlny. Na obrázku 24 vidíme, že TiO_2 k bavlněným vláknům dobře přilnul a došlo k zafixování nanočástic na vlákna. Po vyprání drží TiO_2 u přírodních materiálů lépe než například u syntetického polypropyleny. Důkazem je tomu bavlněná tkanina, na které i po vyprání materiálu v prací lázni, TiO_2 stále dobře drží. Došlo zde pouze ke shluku nanočástic TiO_2 do větších ploch na povrchu materiálu.



Obr. 24 Mikrostruktura bavlny

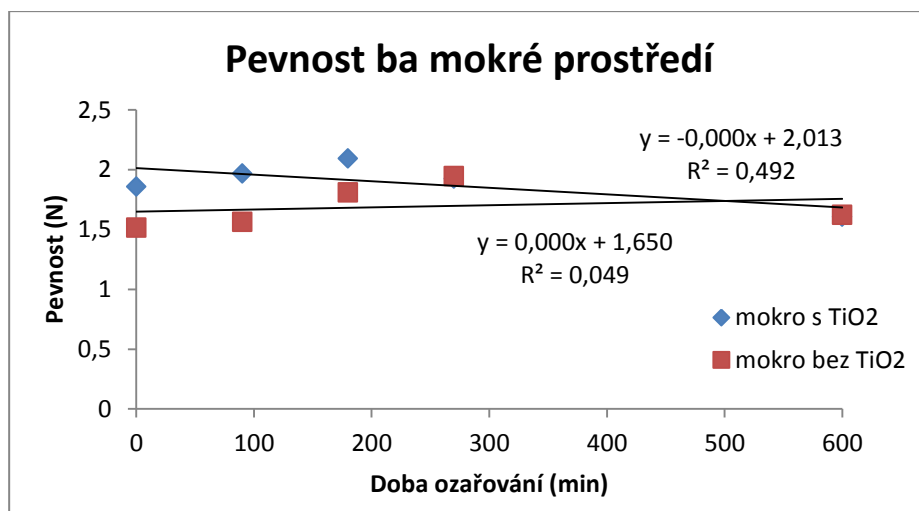
Původní bavlněné materiály byly ozářeny UV světlem v délkách 90', 180', 270' a 600 minut. Vliv UV záření na přírodní bavlněný materiál není nikterak znatelný, je prakticky shodný s neozářeným původním materiálem. Do doby ozařování 270 minut a současného vlivu vlhkého prostředí na materiál není na povrchu struktury bavlněné přize známka poškození. Snímky materiálů po ozáření v délce 600 minut v suchém, vlhkém a mokřém prostředí opět neukazují žádná poškození povrchu bavlny. Samotné UV záření tedy nemá dopad na poškození struktury vláken (Příloha 7, Tab. 13).

Po nanesení oxidu titaničitého na vlákna nedochází k jejich samovolnému poškození. TiO_2 se na přírodním bavlněném vlákně dobře fixuje a po následném vyprání nejsou na vláknech patrné známky poškození povrchu. Vlákna byla navíc

ozařována v délkách 90', 180', 270' a 600 minut UV světlem. Ozařování probíhalo v suchém, vlhkém i mokrém prostředí. Po vyprání nejsou na materiálu patrna znatelná poškození. Na vláknech jsou stále přítomny nanočástice TiO_2 , které na přírodních vláknech drží lépe než na syntetických. Mikrostruktura (SEM) nejeví známky poškození na povrchu vláken. Přírodní bavlněná vlákna jsou stabilní ve fotokatalytickém procesu. Dobře snášejí přítomnost oxidu titaničitého za současného vlivu UV záření na materiál (Příloha 7, Tab. 13).

4.1.2 Pevnost a tažnost materiálů

Tažnost a pevnost původních bavlněných přízí bez obsahu TiO_2 je značně ovlivněna podílem absorbované vlhkosti. Voda proniká do celulóзовých vláken. V nasyceném prostředí pojme bavlna více vody a tím může docházet k růstu pevnosti. Suché prostředí vlákna vysušuje a pevnosti se oproti vlhku a mokru mírně snižují. Stejně tak tažnost vláken v suchém prostředí je nižší než tažnosti bavlněných vláken ozařovaných ve vlhku a mokru.



Graf 3 Pevnost ba mokré prostředí

Na grafu 3 vidíme, že bavlna získává během ozařování do 270 minut za mokra vyšší pevnost a tažnost. Při stoupající době ozařování až na 600 minut začíná povrch tkaniny působením UV záření v mokrém prostředí hnědnout a jeho pevnost se výrazně snižuje. Tažnost těchto materiálů zůstává konstantní (Příloha 5, Graf 4-6).

U bavlněných materiálů ozařovaných společně s oxidem titaničitým na vláknech dochází při ozařování do 180 minut k vyšší pevnosti materiálů než u původních materiálů bez TiO_2 (Graf 3). Což je trochu oproti předpokladu, očekávána byla spíše ztráta pevnosti přírodního materiálu než její stoupání. Oxid titaničitý se dle mého názoru do povrchu vláken nedostává hlouběji, nepoškozuje vlákna, a proto nedochází ke ztrátě pevností. Grafické znázornění výsledků pevností a tažností bavlny je uvedeno v příloze 5, Grafy 1-6.

Při zvýšení doby ozařování na 600 minut dochází k výrazným ztrátám pevnosti ve vlhkém a mokřém prostředí vlivem UV záření. Tažnost se velice nemění, v suchém i mokřém prostředí spíše stoupá, ve vlhku nám mírně klesá. (Příloha 3, Tab. 8 Pevnost a tažnost bavlny).

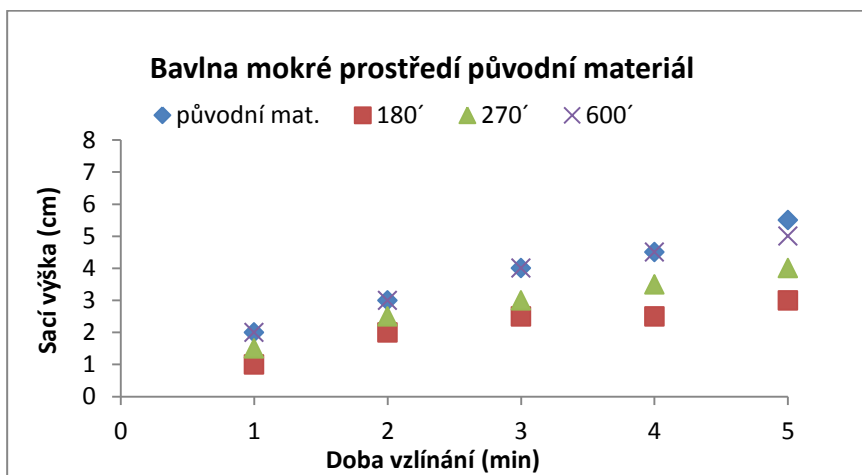
Spojnice trendů u grafů znázorňuje, že s druhem klimatizovaného prostředí se pevnosti výrazně nemění. V suchém prostředí dochází díky suspenzi TiO_2 po ozáření k mírnému nárůstu pevností přízí. Je zde očividný nárůst pevností vlivem nanesení suspenze na materiály. Tažnost přízí s obsahem suspenze TiO_2 ve všech třech podmínkách relativní vlhkosti vzduchu stoupá oproti tažnosti přízí z původních materiálů (Příloha 5, Graf 1–6).

4.1.3 Vzlinavost materiálu

Savosti původních neozářených materiálů bavlny, poskytnutých katedrou textilní chemie, vzrostly do výše 5,5 cm za 5 minut. Vlivem ozáření materiálů UV světlem po doby 90', 180' a 270 minut dochází v suchém a vlhkém prostředí ke snižování savostí (od sací výšky 0,5 cm až k maximálně 1,5 cm za 5 minut). Mokré prostředí poukazuje na vyšší hodnoty vzlinavosti. Tabulka výsledných hodnot savostí bavlny je uvedena v příloze 2. Ozářením materiálů po dobu 600 minut v suchém a mokřém prostředí relativní vlhkosti vzduchu jsou savosti opět shodné se savostí původního neozářeného materiálu.

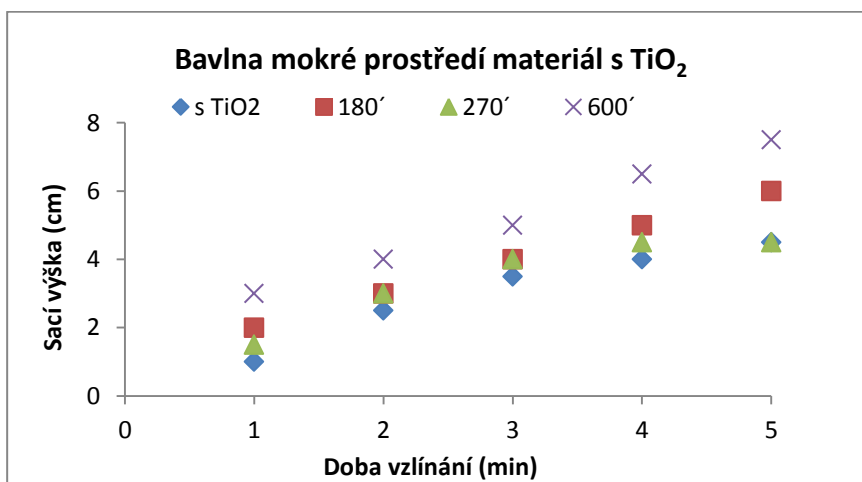
Růst savostí mokrého prostředí vidíme na grafu 41, který je zde přidán pro svoji individualitu. Po ozáření v délce 90 minut bavlny UV světlem klesla hodnota savosti až na 1,5cm/5min. Bavlněné materiály v mokřém prostředí snižují nejvíce svoji savost vlivem krátkodobého působení UV záření.

Zvýšením doby ozáření na 180 minut začíná nasákavost stoupat na 3cm/5min, po 270 minutách působení UV světla se jedná o hodnotu 4cm/5min a vzlinavost po 600 minutách je na 5cm/5min (hodnotu téměř srovnatelnou s původním bavlněným materiálem, který nebyl ozářen UV světlem).



Graf 41 Bavlna vzlinavost v mokré prostředí původní materiál

Vliv na savost bavlny má z velké části i oxid titaničitý. Po jeho aplikaci na vlákna a následném ozáření v různých časech savost materiálu roste. Došlo k zjištění, že pouhým UV ozářením dochází ke snižování savosti bavlněných materiálů, naopak přítomnost TiO_2 během ozařování savost bavlny zvyšuje. (Příloha 2, Tab. 4 Savost ba).



Graf 42 Bavlna vzlinavost v mokré prostředí materiál s TiO_2

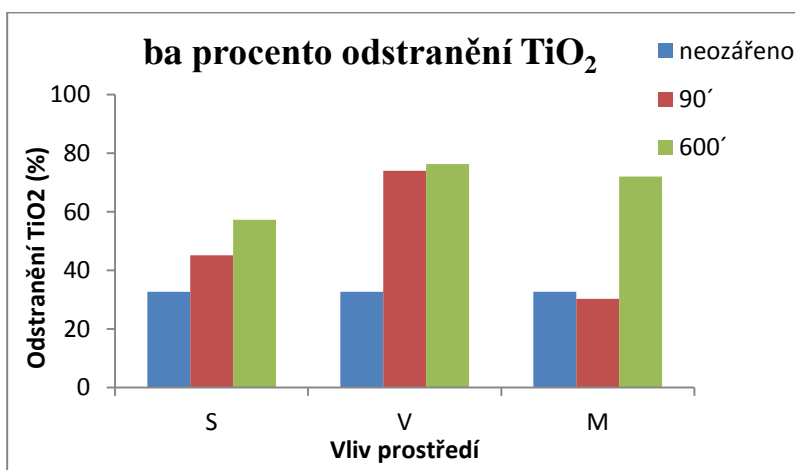
Pomocí rychlostní konstanty vzlinání (hodnota směrnice, která vypovídá o rychlosti vzlinacího procesu) bylo provedeno grafické znázornění. Na grafu 25 přílohy 6 „Vzlinavost ba původní materiál“ je vidět nárůst rychlostní konstanty v mokré prostředí. Suché a vlhké prostředí nezaznamenává takový nárůst hodnot.

Pouze při ozařování v suchém prostředí po dobu 600 minut dojde ke zvýšení rychlostní konstanty (Příloha 6, Graf 25). Vzlínavost bavlněného materiálu s TiO_2 nevykazuje žádné větší změny rychlostní konstanty s měnícím se prostředím relativní vlhkosti vzduchu při ozařování. V suchém, vlhkém i mokřém prostředí se chovají stejně a to i při různých dobách ozařování (Graf 26). Stejně tomu je i u vzlínavosti materiálů po následném vyprání (Graf 27). Bavlněná tkanina si po vyprání udržela stejné hodnoty savosti jako u materiálů s oxidem titaničitým na povrchu. Nasákavost bavlny se vlivem vyprání suspenze TiO_2 neztrácí, jen se mírně snížila o jeden centimetr. (Příloha 6, Graf 25-27)

4.1.4 Prvková analýza XRF

Vybrané bavlněné materiály byly podrobeny zkoušce rentgen fluorescence. Procentuálně lze říci, že z původního neozářeného materiálu s obsahem TiO_2 došlo vypráním k odstranění 32,7 % oxidu titaničitého.

U materiálů ozařovaných 90 minut v suchém prostředí došlo praním k odstranění 45,2 % TiO_2 . Po působení 600 minut UV světla v suchu a následném vyprání bylo odstraněno 57,3 % TiO_2 . Při ozařování v suchém prostředí se s rostoucí délkou působení UV světla snižuje množství TiO_2 na materiálu po vyprání.



Graf 37 Bavlna procento odstranění TiO_2

Po ozáření vzorků ve vlhkém prostředí při 90' a 600 minutách jsou hodnoty téměř konstantní, při 90' ozáření UV je procentuálně odstranění vypráním 74 % TiO_2 a po ozáření 600 minut ve vlhkém prostředí 76,3 % TiO_2 . To znamená, že na bavlněném materiálu zůstalo 23,7 % a 26 % TiO_2 .

Lze tedy konstatovat, že ozařování ve vlhkém prostředí má značný vliv na množství TiO_2 na povrchu materiálu. Při ozařování materiálu UV světlem ve vlhku dochází k snadnějšímu vyprání TiO_2 z bavlněného vzorku než po ozařování v suchu.

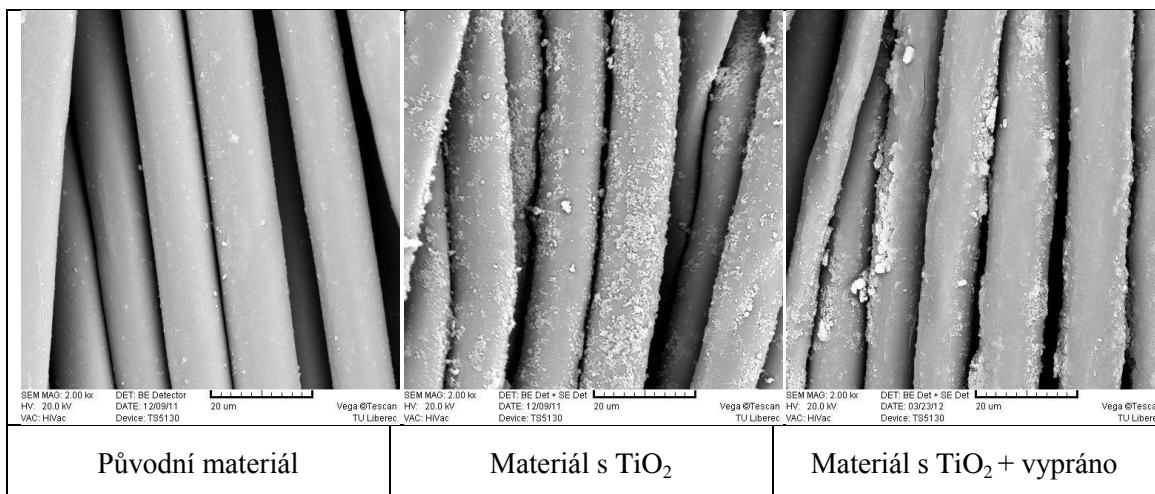
Hodnoty odstranění TiO_2 z povrchu bavlněných materiálů v mokrému prostředí jsou značně odlišné. Při ozařování materiálu v mokrému prostředí nedochází do 90 minut působení UV k velkému úbytku TiO_2 z materiálu. Ozařováním a následným vypráním se odstranilo 30,2 % TiO_2 , oproti tomu při zvýšení doby ozáření na 600 minut odstraníme vypráním až 72 % oxidu titaničitýho (Příloha 4, Tab. 12).

Z výsledků vyplývá, že z přírodního bavlněného materiálu se vypráním odstraní méně oxidu titaničitýho než z materiálu ozářeného navíc UV světlem. Nejméně se oxid titaničitý zafixoval do vláken při ozařování ve vlhkém prostředí. Zde byl úbytek vypráním v průměru 75 %. Oproti tomu se nejvíce zafixoval při ozařování 90 minut v mokrému prostředí, ale se zvýšením doby ozařování v tomto prostředí jeho fixace opět klesá. V suchém prostředí je stupeň fixace téměř konstantní okolo 50 %.

4.2 Polyester

4.2.1 Mikrostruktura materiálu

Polyesterová vlákna jsou jako původní materiál na snímku z rastrové mikroskopie vlákna jemná, hladká a nepoškozená na povrchu.



Obr. 25 Mikrostruktura Polyesteru

Nanesením suspenze oxidu titaničitého zaznamenáváme jeho dobrou přilnavost na vlákna. Vypráním materiálů se vytvoří shluky nanočástic TiO₂, které tvoří nerovnoměrné usazeniny suspenze na povrchu vláken. Nejčastěji se nanočástice přemístí do mezivlákněných prostorů materiálu (Obr. 25).

Vliv UV záření na povrch materiálů není znatelný. Vlákna po ozáření 90', 180', a 270 minut nejeví známky poškození struktury na povrchu vláken. Ani při zvýšení doby ozáření na 600 minut nedochází k viditelnému potrhání či jinému poškození povrchu (Příloha 7, Tab. 14).

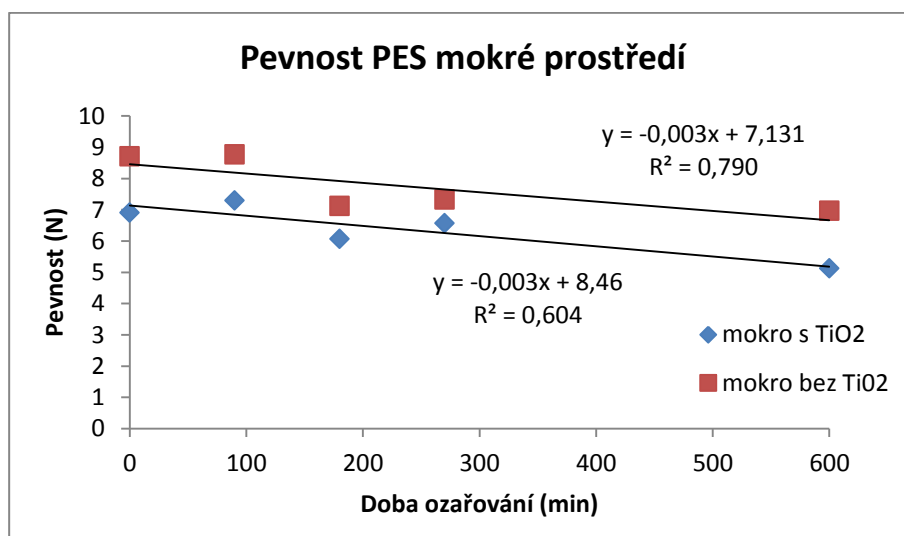
Obsah nanočástic oxidu titaničitého vlivem UV záření ulpí na vláknech a i po následném vyprání materiálu stále drží na povrchu. Materiály ozářeny do 270 minut ve vlhkém prostředí ztratí vypráním jen malou část suspenze. Na snímcích mikrostruktury vidíme, že klimatizování v různých prostředích relativní vlhkosti vzduchu nemá na polyesterový materiál rozdílný vliv. Při ozařování ve všech klimatizovaných prostředích dochází ke stejné přilnavosti TiO₂ na vlákna a po následném vyprání i stejné množství TiO₂ na vláknech ulpí. Suspenze nanočástic je na vláknech zároveň rovnoměrně rozprostřena. (Příloha 7, Tab. 14).

4.2.2 Pevnost a tažnost materiálu

Ve srovnání s přírodní bavlnou absorbují polyesterová vlákna jen tak malé množství vlhkosti, že pevnost ani tažnost nejsou znatelně ovlivněny. Jedná se o vlákna s nízkou navlhavostí. Při působení vody nebo páry vzniká jen mírný pokles hodnot fyzikálních vlastností.

Pevnost materiálů po ozáření UV světlem v časových délkách 90', 180', 270' a 600 minut klesá. A to ve všech typech prostředí. V suchém prostředí již po ozáření 90 minut. Tažnost má kolísavé hodnoty, ale v mnoha případech se jedná o stoupání tažností materiálů vlivem UV záření. (Příloha 3, Tab. 9)

Pokud na původní materiál nanese suspenzi TiO_2 vykazují přitom nižší pevnost než materiály původní, bez přídavku oxidu titaničitého. I následná doba ozařování UV světlem má vliv na pevnost polyesterových vláken (Graf 9) a to ve všech zkoumaných prostředích relativní vlhkosti vzduchu. Čím delší je doba ozařování UV světlem, tím více klesá pevnost jednotlivých přízí s nánosem TiO_2 .



Graf 9 Pevnost PES mokré prostředí

Ve všech případech působení relativní vlhkosti vzduchu během klimatizování a ozařování (sucho, vlhko, mokro) pevnost materiálu klesá. Spojnice trendů u grafů nám znázorňuje, že s druhem klimatizovaného prostředí a úpravou se síla výrazně nemění (Příloha 5, Graf 7-9).

Opakem je tomu u tažnosti polyesterových přízí. Se zvyšující se dobou ozařování stoupá tažnost materiálů bez oxidu titaničitého při současném

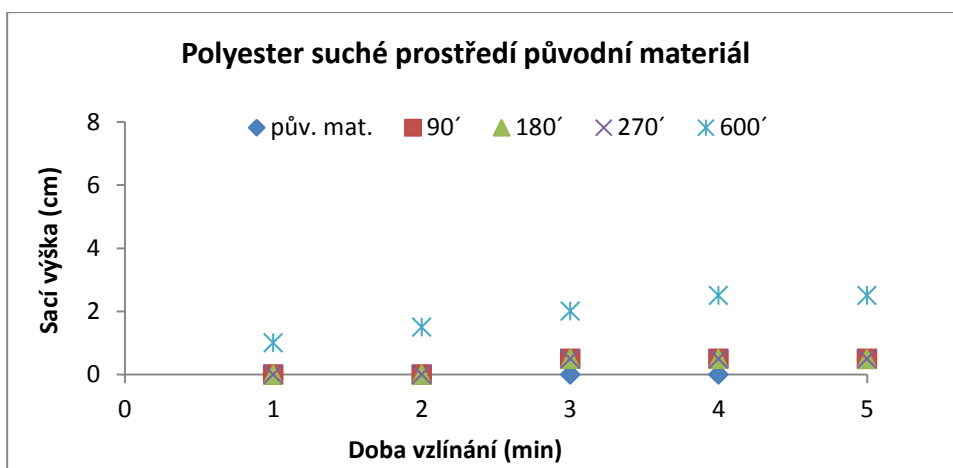
působení mokrého prostředí (Příloha 6, Graf 12). Při ozařování ve všech prostředích relativní vlhkosti vzduchu (sucho, vlhko i mokro) dochází po působení UV záření v čase 600 minut k mírnému nárůstu tažnosti materiálů bez obsahu oxidu titaničitého. Materiály s nánosem TiO_2 zaznamenávají spíše pokles tažností u všech prostředí relativní vlhkosti vzduchu. Především se zvyšující se dobou působení UV záření na polyesterový materiál klesá jeho tažnost. (Příloha 5, Graf 10-12)

Můžeme tedy konstatovat, že polyesterová vlákna (po ozáření UV světlem) zvyšují svoji tažnost a snižují svoji pevnost u všech zkoumaných typů prostředí relativní vlhkosti vzduchu. Po přidání oxidu titaničitého na vlákna dochází nejspíše k degradaci vláken vlivem fotokatalýzy a pevnosti i tažnosti materiálů klesají. Především s růstem doby působení UV záření na materiál.

(Příloha 3, Tab. 9 Pevnost a tažnost PES), (Příloha 5, Graf 7 – 12)

4.2.3 Vzlínavost materiálu

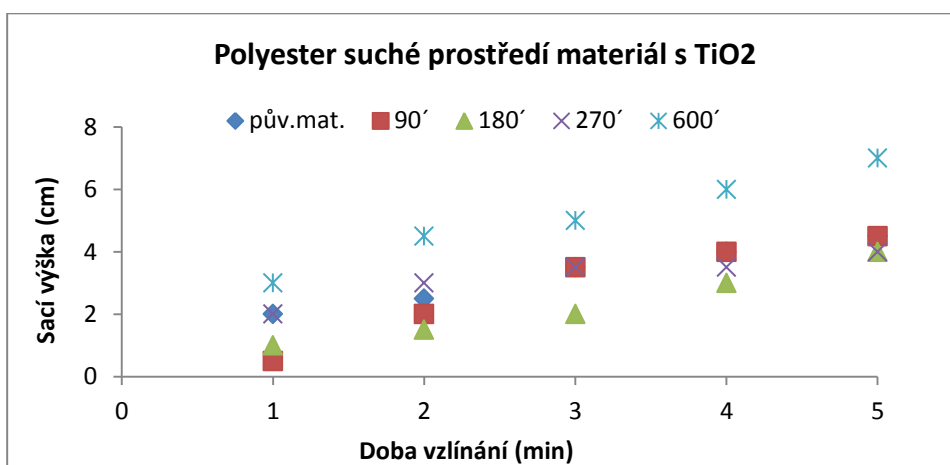
Původní polyesterový materiál nevykazoval žádné hodnoty nasákavosti. Vzlínavost byla pouze 0,5 cm, čili sací výška materiálu. Po ozáření materiálů 90', 180', 270' a 600 minut UV světlem jsou ve vlhkém prostředí savosti téměř konstantní s původním materiálem. Výška nasákavosti v suchém prostředí vzrostla po ozáření v délce 600 minut na 2,5 cm (Graf 43). V mokrému prostředí savosti vzrůstaly s dobou ozařování, od 1,5 cm (po 90 minutách působení UV) až k 3 cm po 600 minutách působení UV záření na polyesterový materiál. (Příloha 2, Tab. 5)



Graf 43 Polyester vzlínavost v suchém prostředí původní materiál

Po zafixování suspenze oxidu titaničitého na původní materiál došlo k nárůstu savosti na 4,5 cm. Materiály byly podrobeny, po nanesení suspenze TiO_2 , ozáření v délce 90', 180', 270' a 600 minut. Čím delší je doba ozařování polyesterového materiálu (s obsahem suspenze) UV světlem, tím vyšší savost materiály mají a to u všech zkoumaných prostředí relativní vlhkosti vzduchu. U vzorku ozářeného po dobu 600 minut při současném vlivu suchého prostředí stoupla savost až na 7 cm za 5 minut (Graf 44). Této hodnotě se blíží i materiály ozářené 600 minut ve vlhkém a mokřém prostředí (Příloha 2, Tab. 5).

Po vyprání polyesterového materiálu od suspenze TiO_2 jsou hodnoty savosti téměř shodné s materiálem obsahujícím TiO_2 . Nedochází zřejmě k velkému úbytku naneseného oxidu titaničitého z vnějšku polyesterových materiálů. Polyester ozářený po dobu 90 minut v suchém, vlhkém i mokřém prostředí má dokonce vyšší hodnoty nasákavosti po vyprání než před vypráním suspenze z povrchu. (Příloha 2, Tab. 5)

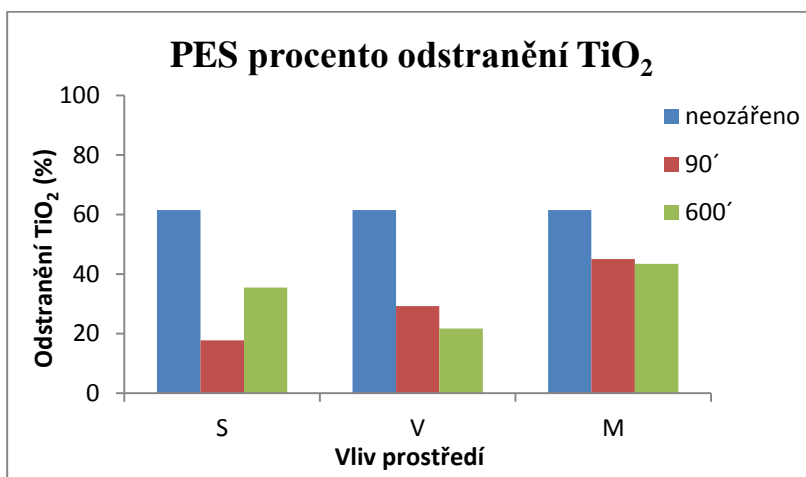


Graf 44 Polyester vzlínavost v suchém prostředí materiál s TiO_2

Savosti byly pro další grafické znázornění provedeny pomocí rychlostní konstanty vzlínání. Graf 28 přílohy 6 (vzlínavost PES původní materiál) poukazuje na nepatrné zvyšování savostí vlivem UV záření, především v mokřém prostředí. U suchého a mokřého materiálu zaznamenáváme zvýšení savosti po ozáření v délce 600 minut. Vypráním suspenze z materiálů ozářených 600 minut jsou hodnoty savostí u všech typů prostředí téměř konstantní s materiálem před vypráním. Na materiálech ozářených jen 90 minut byl oxid titaničitý nejspíše lépe zafixován a savost těchto materiálů se zvýšila. (Příloha 6, Graf 28-30)

4.2.4 Prvková analýza XRF

Materiál poskytnutý Katedrou textilní chemie obsahoval matovací prostředky, na bázi TiO_2 . Jedná se o tzv. pozadí, které bylo nutné předem odečíst, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků práce. Procentuálně lze konstatovat, že původní materiál s TiO_2 neozařený UV světlem ztratil 61,5 % oxidu titaničitého a jen 38,5 % si ponechal. Došlo tedy k výraznému vyprání z povrchu vláken.



Graf 38 PES procento odstranění TiO_2

Materiály s obsahem TiO_2 a ozařované v suchém prostředí mají nejmenší ztráty oxidu titaničitého z povrchu vláken. U vzorků ozařených v délce 90 minut UV světlem došlo k vyprání 17,7 % obsahu TiO_2 a u vzorků ozařených 600 minut k ztrátě 35,4 %. Podle předpokladu se TiO_2 více dostává do vnitřní struktury polyesterových vláken a tím se při praní lépe udrží na povrchu. Materiály ozařované ve vlhkém prostředí mají zůstatek TiO_2 na povrchu 70,8 % po UV záření v délce 90 minut a 78,2 % po působení 600 minut UV. Což ukazuje vyšší vypratelnost oxidu titaničitého z polyesterových vláken než v suchém prostředí, v obou případech okolo 30 %.

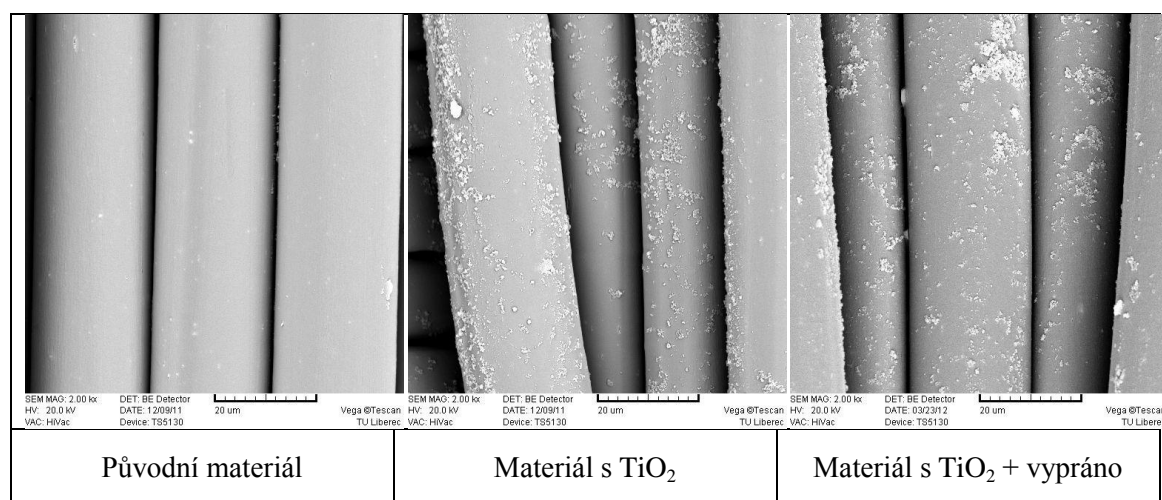
V mokřém prostředí drží TiO_2 nejméně. Nedochozí zde k výraznému vtačování oxidu titaničitého do struktury materiálu. Doba ozařování zde nehraje velikou roli. Materiály ozařené 90 minut UV světlem ztratily vypráním až 45,1 % oxidu titaničitého a stejně se chovají i materiály po ozaření 600 minut, zde je ztráta 43,4 % TiO_2 .

(Příloha 4, Tab. 12)

4.3 Polyamid

4.3.1 Mikrostruktura materiálu

Původní materiál polyamidu je zcela hladký a bez známek poškození povrchu. Přítomnost oxidu titaničitého na vláknech nezaznamenává jejich samovolné poškození. Nanočástice pouze ulpí na povrchu vláken. Po vyprání vidíme na vláknech zbytky nanočástic TiO_2 , které jsou rovnoměrně rozmístěny na povrchu polyamidu. Po působení pouze oxidu titaničitého na materiál nejvíce povrch vláken známky žádného poškození.



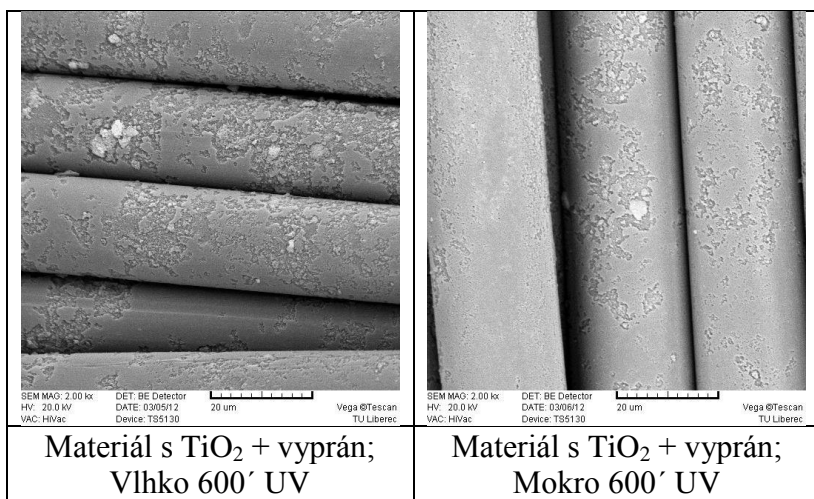
Obr. 26 Mikrostruktura Polyamidu

Vlivem UV záření v délkách 90', 180', 270', 600 minut nedochází k poškození polyamidového materiálu. Doba 270 minut ozařování ve vlhkém prostředí nezpůsobí na povrchu polyamidových vláken známky poškození. Po ozaření UV světlem 600 minut v suchém, vlhkém a mokřem prostředí relativní vlhkosti vzduchu nejsou znatelná žádná narušení struktury. Praním došlo k lehkému seskupení nanočástic z povrchu materiálu do mezer mezi vlákna. Na povrchu zatím nejsou viditelné známky poškození. Působením pouze UV záření na vlákna polyamidu nedochází k poškození povrchu.

Materiály byly naneseny suspenzí s obsahem TiO_2 a následně ozařeny 90', 180', 270' a 600 minut UV světlem. Při ozařování vláken po dobu 90 minut ve vlhkém prostředí jsou po vyprání viditelné shluky nanočástic oxidu titaničitého v prostorech mezi vlákna. (Příloha 7, Tab. 14)

Přítomnost TiO_2 a následné dlouhodobé ozařování materiálů již vykazuje efekt poškození. Po ozáření materiálu v délce 270 minut ve vlhkém prostředí došlo k zafixování nanočástic oxidu titaničitého z povrchu polyamidových vláken do jeho hlubší struktury. Vypráním se část nanočástic odstranila i z mezivláknenných prostorů. Je zde patrné lehké poškození polyamidových vláken, narušení povrchu struktury a pravidelné rovnoměrné porušení povrchu pronikající do hloubky vlákna v místech zafixovaného TiO_2 (Příloha 7, Tab. 15).

Materiály byly podrobeny vyššímu stupni ozáření. Probíhalo 600 minut v suchém, vlhkém i mokřém prostředí relativní vlhkosti vzduchu. Materiály ozařované v suchém prostředí nevykazují známky poškození povrchu od oxidu titaničitého. Následné vyprání materiálu od substance TiO_2 nenaznačuje povrchové narušení vláken (Příloha 7, Tab. 15). Opakem je tomu ve vlhkém a mokřém prostředí relativní vlhkosti vzduchu. Po ozáření vláken ve vlhkém prostředí vidíme shluky nanočástic a místy i oblasti značného úbytku povrchu materiálu (Příloha 7, Tab. 15). Po následném vyprání vzorků, a tím odstranění nanočástic, jsou patrná porušení struktury. Vlákná jsou na povrchu potrhaná s nerovnoměrným porušením povrchu pronikajícím i do hlubší struktury vláken. V mokřém prostředí je tomu stejně, nanočástice se zafixují a po vyprání jsou znatelná poškození vláken (Obr. 27).



Obr. 27 Poškození Polyamidu

Toto je zajímavý výsledek porovnatelný s autory jiných vědeckých prací. Například Phillips a Arthur Jr uvedli, že vodní páry mají vliv na míru poškození [61] a to s větší pravděpodobností u prostředí vlhkého.

4.3.2 Pevnost a tažnost materiálu

Ve srovnání s přírodní bavlnou absorbují syntetická polyamidová vlákna za normálních podmínek málo vlhkosti. Jejich původní pevnost je nízká, 2,95 N. Ozářením vláken UV světlem dochází k navýšení pevností polyamidových vláken. I tažnost původního neozářeného polyamidu je podstatně nižší než tažnost polyamidových přízí ozářených pod UV světlem (Příloha 3, Tab. 10). Materiály, ozářené po dobu 90 minut UV světlem v suchém prostředí, mají nárůst pevnosti na 4,27 N. S prodlužováním doby působení UV záření až k 600 minutám ale pevnosti materiálů opět klesají. Největší nárůst pevností je při ozařování v mokřém prostředí. Zde dochází se zvyšující se délkou působení UV záření na materiál k nárůstu jeho pevnosti (Příloha 5, Graf 13-15).

Přidání TiO_2 na polyamidová vlákna už samo o sobě způsobí zvýšení pevnosti i tažnosti přízí. Po ozařování UV světlem v délce 90 minut pevnosti materiálů nadále stoupají. Nejvíce při ozařování v mokřém prostředí. Kromě doby ozařování má tedy na pevnost a tažnost polyamidových vláken vliv prostředí, ve kterém jsou vzorky ozařovány. V suchém prostředí pevnost a tažnost materiálů s obsahem TiO_2 stoupá i při působení UV záření v délce 600 minut (Příloha 5, Graf 13). Nedochozí zde k výraznému poškození vláken. Důkazem je tomu i mikroskopická struktura materiálů ozářených v suchém prostředí po dobu 600 minut.

V mokřém a vlhkém prostředí dochází s růstem doby ozařování UV naopak k poklesům pevností i tažností (Příloha 5, Graf 14 a 15). Při ozářením materiálů v těchto dvou prostředích po dobu 600 minut se dostáváme s hodnotou pevnosti pod hodnotu původního neozářeného materiálu s obsahem TiO_2 .

Pevnost vláken ovlivňuje jak vlhkost, tak i doba působení UV světla. Fotokatalytické procesy mají tedy vliv na poškození polyamidových vláken. Po navýšení doby ozařování na 600 minut dochází k ztrátám pevností v prostředí s obsahem vodních par. Zvláště pak u materiálů nanesených částicemi TiO_2 . Tyto částice se dostávají do struktury materiálů a snižují tak pevnosti polyamidu. Jak je tomu vidět i na dokumentaci rastrové mikroskopie.

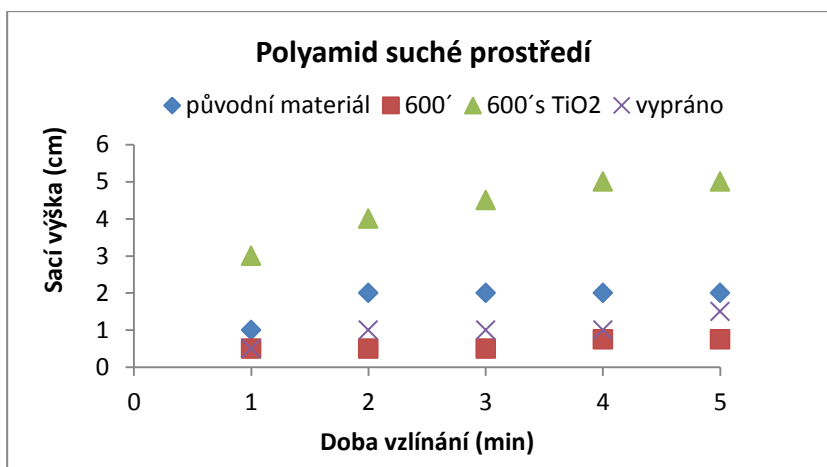
(Příloha 3, Tab. 10 Pevnost a tažnost PAD)

(Příloha 5, Graf 13 – 18)

4.3.3 Vzlínavost materiálu

Na polyamidový materiál mělo UV záření vliv poklesem savostí. Zatímco původní materiál měl nasákavost 2 cm již po 2 minutách (a tuto savost si udržel až do 5 minut působení H_2O). Vlivem UV záření v různých časových délkách a klimatických podmínkách jeho savost klesla. Nasákavost u polyamidu se ve všech prostředích relativní vlhkosti vzduchu pohybovala jen okolo sací výšky – 0,5 cm a maximálně stoupla na 1,5 cm za 5 minut.

Pokud byl na materiál nanesen oxid titaničitý, došlo k nárůstu savostí. Například po ozařování v suchém prostředí stoupala savost s dobou působení UV světla. Čím déle byly vzorky ozařovány, tím vyšší měly hodnoty nasákavosti. Po 90 minutách působení UV záření byla nasákavost materiálu na 4 cm za 5 minut a po ozáření 600 minut v suchém prostředí stoupla savost k 5 cm. Materiály byly následně vyprány od oxidu titaničitého a jejich nasákavost poklesla k hodnotám, které měl polyamidový materiál pouze ozářený UV světlem (Graf 45).



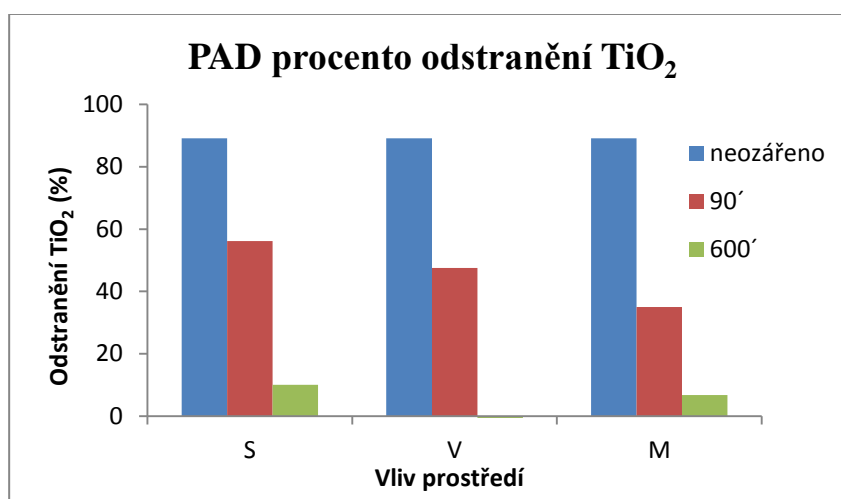
Graf 45 Polyamid vzlínavost v suchém prostředí

Ve vlhkém a mokřém prostředí zaznamenáváme menší růst savostí vlivem působení TiO_2 a UV záření než v suchém prostředí. Vypráním materiálů, které byly ozářeny 600 minut, se neodstranilo tolik TiO_2 jako při působení suchého prostředí. Materiály měli vyšší hodnoty nasákavosti, prakticky shodné s hodnotami před vypráním. Ve vlhkém a mokřém prostředí nedošlo vypráním k odstranění takového množství TiO_2 z povrchu materiálu jako při vlivu suchého prostředí, a proto byly hodnoty savostí vyšší. (Příloha 2, Tab. 6 Savost PAD).

Savosti byly pro grafické znázornění provedeny pomocí rychlostní konstanty vzlínání. Původní materiály ukazují výrazný pokles savosti materiálů vlivem UV ozáření (Graf 31). S ohledem na prostředí při ozařování jsou hodnoty z mokrého prostředí nejvyšší. Polyamidový materiál po nanesení suspenze TiO_2 vykazuje naopak nejvyšší savost u suchého prostředí a nejnižší v mokřém prostředí (Graf 32). Vypráním materiálu se dostáváme na stejné hodnoty, jako měl materiál s obsahem suspenze TiO_2 . Vlivem stoupající délky záření na 600 minut klesá savost jen u suchého prostředí. Mokré a vlhké prostředí je konstantní s materiály před vypráním (Graf 33). (Příloha 6, Graf 31-33)

4.3.4 Prvková analýzy XRF

Materiál poskytnutý Katedrou textilní chemie obsahoval matovací prostředky, na bázi TiO_2 . Jedná se o tzv. pozadí, které bylo nutné předem odečíst, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků práce.



Graf 39 PAD procento odstranění TiO_2

Vypráním PAD materiálu s obsahem suspenze TiO_2 došlo k vysokému úbytku TiO_2 z povrchu neozářeného materiálu (až o 89,1 %). Vlivem UV záření se zvyšovaly hodnoty intenzity TiO_2 na materiálech podle druhu prostředí, v němž byly ozařovány. Při ozařování UV světlem po dobu 90 minut bylo nejméně vypráno z materiálu ozařovaného v mokřém prostředí 35 %. Ve vlhkém prostředí klesl obsah oxidu titaničitého o 47,6 % a nejvíce TiO_2 bylo praním odstraněno z vláken při ozařování UV světlem v suchém prostředí, až 56,2 % TiO_2 .

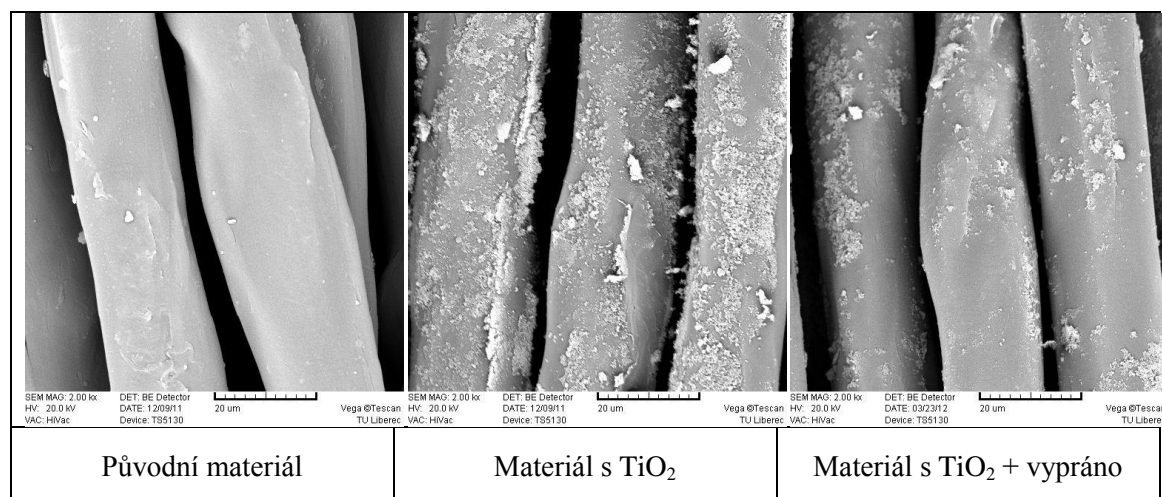
S rostoucím dobou působení UV světla rostl i obsah TiO_2 na vláknech. Po ozařování 600 minut dochází k minimálním ztrátám TiO_2 z povrchu materiálů. U suchého prostředí 10 %, u mokrého prostředí jen 6,8 % odstranění z vláken. Ve vlhkém prostředí byla hodnota zůstatku na povrchu výrazně nejvyšší (potvrzeno dalším opakováním). Oxid titaničitý se společně s vlivem UV záření dostane hlouběji do struktury vláken a nedochází tak k jeho silnému vyprání. (Příloha 4, Tab. 12)

Oxid titaničitý se díky působení UV záření a vlivu mokrého prostředí fixuje na vlákna. Zvyšování doby působení UV záření na polyamidový materiál by zde mohl znamenat i vyšší poškození polyamidových vláken. Dosažené výsledky pro tento materiál jsou zajímavé a bylo by dobré dál pokračovat ve výzkumu.

4.4 Polypropylen

4.4.1 Mikrostruktura materiálu

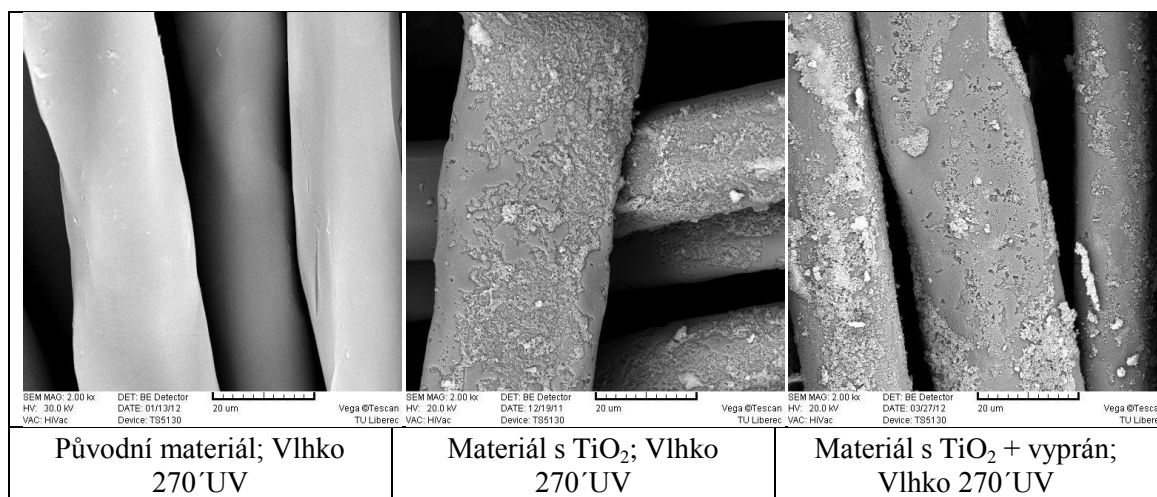
Polypropylenová vlákna jsou u původního materiálu viditelně hladká a nepoškozená s čistou strukturou povrchu. Oxid titaničitý nanesený na vlákna suspenzí s H_2O k vláknům rovnoměrně přilnul. Po vyprání materiálu dochází k odstranění větší části oxidu titaničitého. Nanočástice se na povrchu vláken neudržely v takovém množství jako například u přírodní bavlny.



Obr. 28 Mikrostruktura Polypropylenu

Vlákna byla ozařována UV světlem po časové délky 90', 180', 270' a 600 minut. Samotné UV záření nemá na polypropylenová vlákna, po stránce poškozování jejich povrchu, významný vliv. Mikrostruktura povrchu po ozáření v nejvyšší délce 600 minut nezaznamenává známky poškození povrchu polypropylenových vláken pouze vlivem UV záření na materiál (Příloha 7, Tab. 16).

Přidáním suspenze TiO_2 a následným ozářením materiálu v délce 90 minut působení UV záření ve vlhkém prostředí relativní vlhkosti vzduchu nedochází k viditelnému narušení povrchu vláken. Zvýšením délky ozařování na 270 minut se na povrchu objevují první známky poškození. Oxid titaničitý se dostává do povrchu struktury a začíná ji poškozovat. Na snímcích obrázku 29 jsou po vyprání polypropylenového materiálu od suspenze patrná porušení zevnějšku vláken. V tomto místě nerovnoměrného porušení povrchu, pronikají usazené nanočástice oxidu titaničitého do hloubky vlákna.



Obr. 29 Poškození Polypropylenu

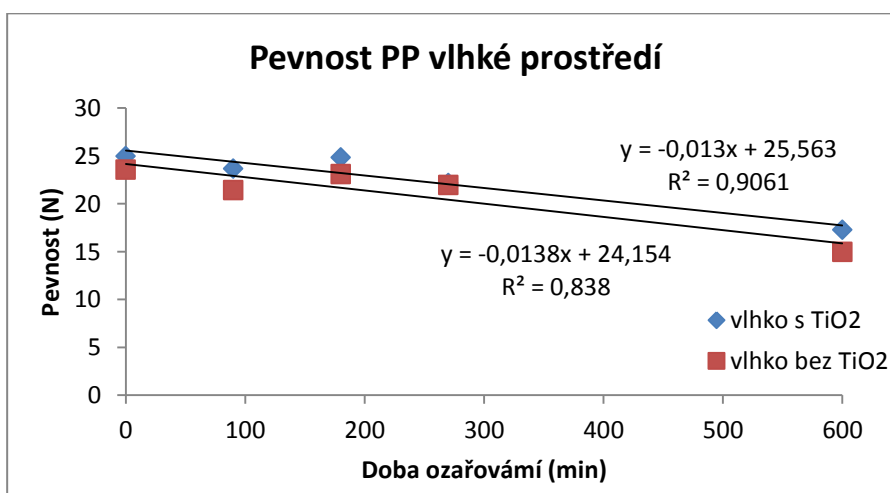
Zvýšením doby ozařování na 600 minut vidíme v suchém prostředí lepší uchycení nanočástic na materiál než přilnavost nanočástic ve vlhkém prostředí. Po ozařování v délce 600 minut v mokřém prostředí jsou patrná i nerovnoměrná porušení povrchu a shluky suspenze TiO_2 na vláknech. Materiály byly vyprány od nanesené suspenze s obsahem TiO_2 a provedeny další snímky SEM mikroskopie. V suchém a mokřém prostředí dojde ozářením materiálů s obsahem TiO_2 k mírnému poškození struktury, vlákna jsou potrhána na svém povrchu. (Příloha 7, Tab. 16).

Důkazem je tomu i snižování pevnosti a tažnosti polyesterových vláken se zvyšující se délkou UV ozařování u vláken s obsahem TiO_2 . Pro zjištění rozsahu poškození polypropylenových vláken by bylo zapotřebí dalších experimentů. Zde je zatím patrné, že k určitému stupni poškozování vláken vlivem fotokatalytického procesu dochází. Zvyšování doby ozařování v různých prostředích relativní vlhkosti vzduchu by jistě ukázalo další zajímavé výsledky.

4.4.2 Pevnost a tažnost materiálu

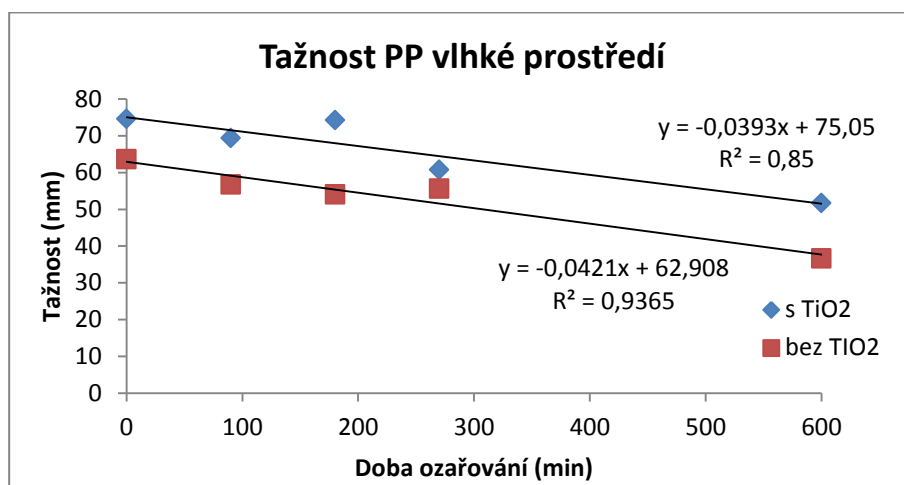
Polypropylenová vlákna vodu neabsorbují. Tažnost a pevnost vláken za sucha a mokra je téměř identická. Vlhkost tedy nemá značný vliv na jejich mechanické vlastnosti a voda nezpůsobuje degradaci těchto vláken. Po nanesení suspenze TiO_2 na původní materiály se pevnost a tažnost mírně zvýšily. Vlivem UV záření však opět klesá jak pevnost, tak i tažnost polypropylenového vzorku. Pokles je zaznamenán u původních materiálů pouze UV ozářených i u materiálů s obsahem TiO_2 a následným ozářením UV světlem. Ke ztrátám dochází u všech typů relativních vlhkostí vzduchu uvnitř klimatizovaného systému.

Na grafu 20 je uvedena pevnost polypropylenu ozařovaného ve vlhkém prostředí. U materiálů bez TiO_2 vlivem UV ozářením dochází k vyšší ztrátě pevností, než u materiálů nanesených suspenzí oxidu titaničitého. Největší ztráty jsou zaznamenány u materiálů, kde ozařování probíhalo v délce 600 minut. Výsledky působení suchého a mokrého prostředí na polypropylenový materiál jsou téměř shodné s vlhkým prostředím a jejich grafické znázornění je v příloze 5 na grafu 19-21.



Graf 20 Pevnost PP vlhké prostředí

Po nanesení suspenze oxidu titaničitého na materiál dojde k růstu tažnosti polypropyleny. Následné působení UV záření na vzorky ale znamená opět pokles jeho tažnosti a to u všech typů zkoušených prostředí relativní vlhkosti vzduchu.



Graf 23 Tažnost PP vlhké prostředí

Suché a mokré prostředí relativní vlhkosti vzduchu při působení na polypropylenový materiál má podobné výsledky jako vlhké prostředí a jsou znázorněny v příloze 6 na grafu 22-24. Čím delší je doba působení UV záření na materiál, tím nižší je jeho pevnost i tažnost. Po navýšení doby ozařování na 600 minut UV světla dochází k nejvyšší ztrátě tažnosti i pevnosti. Oxid titaničitý sice zvyšuje tažnost materiálu, ale je zde předpoklad, že materiály v prodlouženou délkou ozařování nad 600 minut působení UV světla budou mít i vyšší ztráty pevnosti polypropylenových přízí.

Spojnice trendů, kterou jsou grafy proloženy, nám ukazuje, že s druhem klimatizovaného prostředí se síla výrazně nemění. Závislost je pouze pokud materiály obsahují oxid titaničitý a u zvyšující se doby působení UV světla na vlákna.

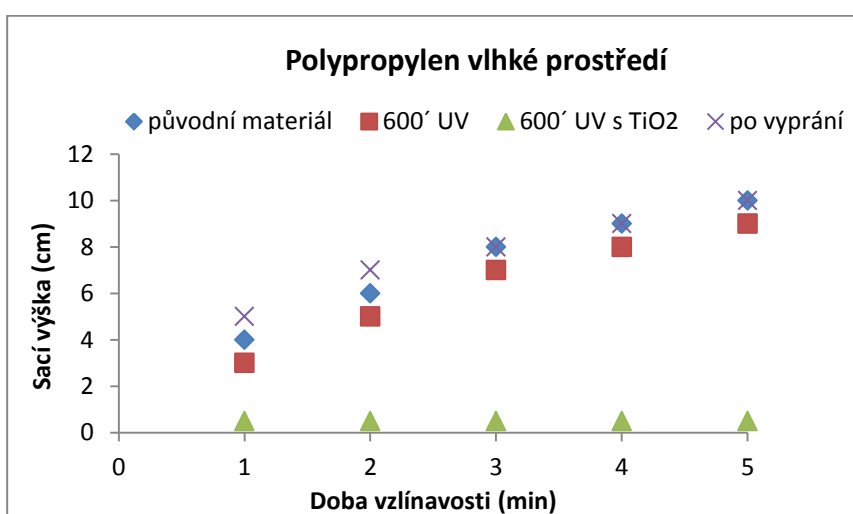
(Příloha 3, Tab. 11 Pevnost a tažnost PP)

(Příloha 5, Graf 19 – 24)

4.4.3 Vztlínavost materiálu

U polypropylenových vláken se projevil opačný efekt než u polyamidových vláken. Zatím co u polyamidových materiálů vlivem UV záření savost klesala a působením TiO₂ stoupala, u polypropyleny je tomu naopak.

Na grafu 46 vidíme, že původní polypropylenový materiál (neozářený a zároveň bez obsahu TiO_2) měl vysoké hodnoty vztlínivosti (10cm/5minut). UV ozářením původního materiálu v délce 600 minut ve vlhkém prostředí došlo k mírnému poklesu vztlínivosti (7-9cm/5minut) oproti neozářenému materiálu. Po nanesení suspenze TiO_2 na původní materiál klesly savosti na úplné minimum (0,5cm/5minut - čili sací výška materiálu). Následným vypráním vzorků došlo k výraznému odstranění TiO_2 z povrchu materiálů a savost ukázala opět vysoké hodnoty. Vypráním se suspenze dostala pryč z povrchu materiálu a vzorek se choval jako původní materiál. Po 5 minutách působení H_2O byla jeho nasákavost opět až 10 cm.



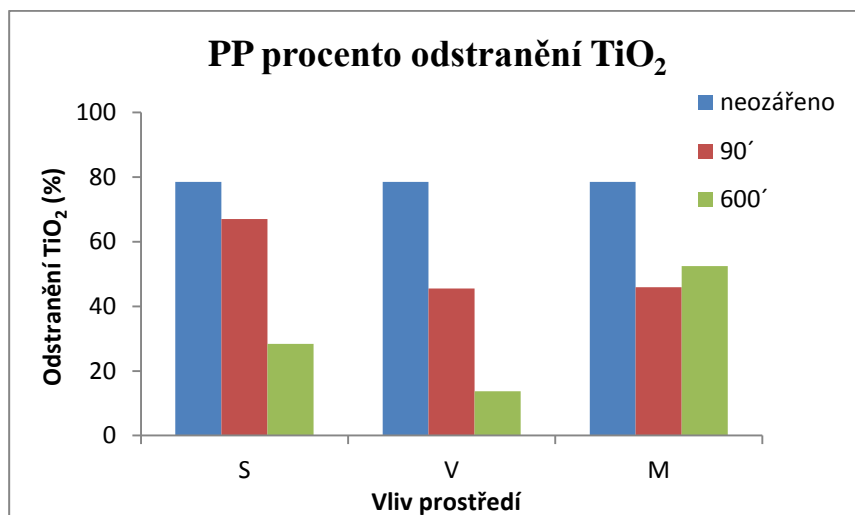
Graf 46 Polypropylen vztlínivost ve vlhkém prostředí

Materiály ozářené v suchém a mokřém prostředí (Příloha 2, Tab. 7) vykazují stejné hodnoty vztlínivosti jako materiály ozařované ve vlhkém prostředí relativní vlhkosti vzduchu. Účinek působení samotného UV záření na původní polypropylenový materiál spočívá v částečném snižování jeho nasákavosti. V porovnání s tím oxid titaničitý výrazně snižuje vztlínivost polypropylenového materiálu na úplné minimum (sací výšky vzorku). S následným působením UV záření na materiál obsahující suspenzi oxidu titaničitého se tato vlastnost nemění. Hodnoty vztlínivosti materiálu jsou stále velmi nízké. Následným vypráním v prací lázni se odstraní suspenze TiO_2 z povrchu polypropylenu a hodnoty savosti jsou shodné s původním materiálem (Příloha 2, Tab. 7 Savost PP).

Savosti byly pro grafické znázornění provedeny pomocí rychlostní konstanty vztlínání (Příloha 6, Graf 34-36).

4.4.4 Prvková analýza XRF

Vybrané polypropylenové materiály byly podrobeny zkoušce rentgen fluorescence. U polypropylenových materiálů došlo po vyprání původního neozářeného materiálu s obsahem TiO_2 k jeho silnému úbytku. Na vláknech zůstalo pouze 21,5 % TiO_2 .



Graf 40 PP procento odstranění TiO_2

Vliv prostředí měl na vlákna suchý a vlhký uzavřený systém spolu se zvyšující se dobou ozařování. V suchém prostředí došlo po ozáření 90' UV světlem k úbytku 67 % TiO_2 z povrchu vláken, naopak při ozáření 600 minut se na vláknech udrželo až 71,6 % oxidu titaničitýho a úbytek byl jen 28,4 %.

Ve vlhkém prostředí tomu bylo podobně jako u suchého. Po ozáření 90 minut byl úbytek TiO_2 45,5 %, ale ozářením v délce 600 minut došlo k odstranění jen 13,7 %. Na polypropylenových vláknech se tedy po dlouhodobém působení UV záření společně s TiO_2 udrželo až 86,3 % suspenze TiO_2 . Mokré prostředí nezaznamenává velké výkyvy souvisejícími s délkou ozařování. Po ozáření 90 minut byla ztráta TiO_2 45,9 % a po ozáření 600 minut ztráta jen mírně vzrostla na 52,4 % TiO_2 .

Z výsledků lze říci, že na zafixování suspenze oxidu titaničitýho má u polypropylenových vláken vliv doba ozařování. Delší časový úsek působení UV světla znamená více suspenze oxidu titaničitýho na vláknech po vyprání materiálu. Z hlediska klimatizování je nejvhodnější působení vlhkého prostředí. (Příloha 4, Tab. 12).

5. Závěr

Textilní vlákna, přírodního i syntetického původu, jsou velmi důležitá pro civilizované lidstvo. Znat odolnost těchto vláken v různých prostředích relativní vlhkosti přináší větší možnosti využití textilu v praxi. Nevhodným použitím materiálů například při působení slunečního světla, povětrnostních vlivů nebo chemikálií urychluje jejich opotřebení. Na základě znalostí materiálů, vlivu prostředí a podmínek pro následné aplikace můžeme napomoci snížení degradace textilních vláken na minimum.

Přírodní pigmenty fungují jako absorbéry ultrafialového záření. Samotné UV záření nemá dopad na poškození struktury bavlněných vláken. Suspenze TiO_2 se na vlákna zafixuje a i po následném vyprání obsah suspenze na vláknech stále zůstává. Z přírodního bavlněného materiálu se vypráním odstraní méně oxidu titaničitého než z bavlněného materiálu ozářeného navíc UV světlem. Růst pevnosti a tažnosti se mění vlivem vlhkého prostředí, dle mého názoru voda proniká do struktury vláken a tím zvyšuje jejich pevnost. Ozařování v suchém prostředí vlákna nejspíš vysušuje, a proto svoji pevnost ztrácí. UV ozářením dochází i ke snižování savosti bavlněných materiálů, naopak přítomnost TiO_2 na materiálech a jejich následné ozářením savost zvyšuje. Vypráním se savost nesníží. Bavlněné tkaniny jsou stabilní. Dobře snáší přítomnost oxidu titaničitého a vliv UV záření na povrch materiálu.

Syntetický polyesterový materiál nezaznamenává, ani po zvýšení doby jeho ozářením na 600 minut, znatelné poškození mikrostruktury povrchu. Suspenze oxidu titaničitého na vláknech má vliv na pevnost a tažnost polyesteru. Čím delší je doba ozařování materiálu UV světlem, tím více klesá i pevnost přízí s nánosem TiO_2 . Opakem je tomu u tažností. Se zvyšující se dobou ozařování tažnost materiálů stoupá a to u všech zkoumaných prostředí relativní vlhkosti vzduchu. Oxid titaničitý a zároveň ozářením UV světlem výrazně zvyšuje vzlinavost polyesterových materiálů. Materiály ozařované v suchu mají nejmenší ztráty po vyprání. TiO_2 se nejspíše dostává hlouběji do struktury vlákna a lépe se zde udrží. Opakem tomu je ve vlhkém a mokřém prostředí, proto u polyesterových materiálů záleží na druhu prostředí, ve kterém jsou vzorky klimatizovány a ozařovány. U polyesterových vláken nedochází vlivem fotokatalytických procesů k poškození povrchu vláken.

Dalším zkoumaným syntetickým materiálem byl polyamid. Tento materiál sám o sobě nejeví žádné známky poškození vlivem UV záření a to až do zkoumané výše ozáření 600 minut. Přítomnost TiO_2 společně s UV zářením zaznamenává první změny na povrchu materiálů. Krátké časové úseky ozáření (90') vlákna nepoškozují, dochází zde jen ke shluku nanočástic v prostoru mezi vlákny. Po ozáření materiálu v délce 270 minut a následném vyprání, vidíme na obrázcích mikrostruktur zafixování nanočástic hlouběji do povrchu. Zvýšení doby ozáření na 600 minut ve vlhkém a mokřém prostředí zaznamenává výrazné změny od přítomnosti TiO_2 . Tvoří se nerovnoměrné porušení povrchu pronikající do hloubky vlákna a vidíme i patrná potrhání vláken. Vlhkost má tedy značný vliv na poškozování polyamidu. Důkazem je tomu i zkouška pevnosti a tažnosti materiálů. Nanočástice TiO_2 se dostávají hlouběji do struktury materiálu a tím snižují jeho pevnost. Samotné UV záření na materiál mělo také za následek snižování savostí polyamidu. Oproti tomu nános suspenze TiO_2 na materiály má vliv na nárůst vzlinavosti. Povrchová analýza říká, že s rostoucí dobou ozařování polyamidového materiálu jsou nanočástice více zafixovány a tím dochází k menším úbytkům při praní. Syntetický polyamidový materiál silně reaguje na vliv fotokatalytického procesu. Přítomnost oxidu titaničitého, UV záření a vlhkosti způsobuje degradaci povrchu vláken.

U polypropylenových vláken UV záření nemá vliv na poškození vláken. Přítomnost TiO_2 je znatelná po ozáření v délce 270 minut a to ve všech klimatizovaných prostředích. Vlákná začínají mít narušenou strukturu povrchu. Důkazem je tomu i snižování pevnosti a tažnosti s růstem doby ozařování materiálů. K určitému stupni poškozování vlivem suspenze a UV záření dochází a to u všech relativních vlhkostí vzduchu uvnitř zařízení. Savosti polypropylenu vlivem UV záření částečně klesla oproti původním vzorkům. Přítomnost TiO_2 při ozařování má silnější vliv, savost klesla až na úplné minimum. Po vyprání od suspenze savost vzrostla na hodnoty stejné s původním materiálem. Na polypropylenová vlákna má značný vliv doba ozařování UV světlem. TiO_2 částice ve vlhkém prostředí mají vliv na hlubší degradační poškození vláken. S rostoucí dobou ozařování nad 600 minut by mohlo docházet k výraznějším poškozením vláken vlivem fotokatalýzy.

Pro zpřesnění a objasnění výsledků analyzování poškození vláken by byly potřeba další pokusy a experimenty. Vývoj výzkumu by mohl směřovat od změn množství TiO_2 v suspenzi používané pro aplikaci na vlákna, přes prodlužování doby ozařování ultrafialovým světlem, k změně druhu používaného UV světla nebo k různým délkám klimatizování materiálů při odlišných relativních vlhkostech vzduchu.

Nové podněty pro aplikovaný výzkum by mohli přinést touto prací získané výsledky působení fotokatalytických procesů na syntetické materiály, které oproti přírodní bavlně byly více reaktivní.

Seznam příloh

Příloha 1 Relativní vlhkosti vzduchu uvnitř umělohmotné misky uzavřené folií

Příloha 2 Vzlínavost materiálů

Příloha 3 Pevnosti a tažnosti materiálů

Příloha 4 Rentgen fluorescence XRF Procento odstranění/fixace TiO_2

Příloha 5 Pevnost a tažnost grafické znázornění

Příloha 6 Vzlínavost materiálů grafické znázornění

Příloha 7 Mikroskopická struktura

Seznam obrázků

- Obr. 1 UV-VIS spektrum [8]
- Obr. 2 Ultrafialové sluneční záření [30]
- Obr. 3 Elektromagnetické záření [51]
- Obr. 4 Pracovní diagram vláken [58]
- Obr. 5 Fotokatalýza: vznik páru elektron-díra [60]
- Obr. 6 Mikrostruktury vláken (SEM), zvětšení 2 μ m a) povrch celulózového vlákna; b) povrchová morfologie celulózového vlákna potaženého TiO₂; c) povrchová morfologie TiO₂-SiO₂ kompozitu nano povlak na regenerovaných celulózových vláknech. [49]
- Obr. 7 Modifikovaný Anatas [50]
- Obr. 8 Krystalická struktura Anatasu [50]
- Obr. 9 Modifikovaný Brookit [50]
- Obr. 10 Krystalická struktura Brookitu [50]
- Obr. 11 Modifikovaný Rutil [50]
- Obr. 12 Krystalická struktura Rutilu [50]
- Obr. 13 Mikrostruktury TiO₂ částic (SEM) [55]
- Obr. 14 Experimentální box s UV zářivkou
- Obr. 15 Ultrazvukový homogenizátor v laboratoři TUL
- Obr. 16 Fulár Mathis v laboratoři TUL
- Obr. 17 Sušící zařízení v laboratoři TUL
- Obr. 18 Rastrovací elektronový mikroskop s motorizovaným manipulátorem [36]
- Obr. 19 Trhací přístroj Labtest 2.05
- Obr. 20 Rentgenový fluorescenční spektrometr ElvaX II
- Obr. 21 Závislost absorpance na vlnové délce
- Obr. 22 Nákres 3D
- Obr. 23 Umělohmotná průsvitná miska a použitá folie
- Obr. 24 Mikrostruktura bavlny
- Obr. 25 Mikrostruktura Polyesteru
- Obr. 26 Mikrostruktura Polyamidu
- Obr. 27 Poškození Polyamidu
- Obr. 28 Mikrostruktura Polypropylenu
- Obr. 29 Poškození Polypropylenu

Seznam tabulek

- Tab. 1 Fyzikální a chemické vlastnosti TiO_2 [50]
- Tab. 2 Výpočet odmačky na přístroji Fulár Mathis
- Tab. 3 Relativní vlhkost vzduchu
- Tab. 4 Vzlínavost ba
- Tab. 5 Vzlínavost PES
- Tab. 6 Vzlínavost PAD
- Tab. 7 Vzlínavost PP
- Tab. 8 Pevnost a tažnost ba
- Tab. 9 Pevnost a tažnost PES
- Tab. 10 Pevnost a tažnost PAD
- Tab. 11 Pevnost a tažnost PP
- Tab. 12 Rentgen fluorescence XRF
- Tab. 13 Mikrostruktura ba
- Tab. 14 Mikrostruktura PES
- Tab. 15 Mikrostruktura PAD
- Tab. 16 Mikrostruktura PP

Seznam grafů

- Graf 1 Pevnost ba suché prostředí
- Graf 2 Pevnost ba vlhké prostředí
- Graf 3 Pevnost ba mokré prostředí
- Graf 4 Tažnost ba suché prostředí
- Graf 5 Tažnost ba vlhké prostředí
- Graf 6 Tažnost ba mokré prostředí
- Graf 7 Pevnost PES suché prostředí
- Graf 8 Pevnost PES vlhké prostředí
- Graf 9 Pevnost PES mokré prostředí
- Graf 10 Tažnost PES suché prostředí
- Graf 11 Tažnost PES vlhké prostředí
- Graf 12 Tažnost PES mokré prostředí
- Graf 13 Pevnost PAD suché prostředí
- Graf 14 Pevnost PAD vlhké prostředí
- Graf 15 Pevnost PAD mokré prostředí
- Graf 16 Tažnost PAD suché prostředí
- Graf 17 Tažnost PAD vlhké prostředí
- Graf 18 Tažnost PAD mokré prostředí
- Graf 19 Pevnost PP suché prostředí
- Graf 20 Pevnost PP vlhké prostředí
- Graf 21 Pevnost PP mokré prostředí
- Graf 22 Tažnost PP suché prostředí
- Graf 23 Tažnost PP vlhké prostředí
- Graf 24 Tažnost PP mokré prostředí
- Graf 25 Vzlínavost ba původní materiál
- Graf 26 Vzlínavost ba materiálu s TiO_2
- Graf 27 Vzlínavost ba materiálu po vyprání
- Graf 28 Vzlínavost PES původní materiál
- Graf 29 Vzlínavost PES materiálu s TiO_2
- Graf 30 Vzlínavost PES materiálu po vyprání
- Graf 31 Vzlínavost PAD původní materiál
- Graf 32 Vzlínavost PAD materiálu s TiO_2
- Graf 33 Vzlínavost PAD materiálu po vyprání
- Graf 34 Vzlínavost PP původní materiál
- Graf 35 Vzlínavost PP materiálu s TiO_2
- Graf 36 Vzlínavost PP materiálu po vyprání
- Graf 37 Bavlna procento odstranění TiO_2
- Graf 38 PES procento odstranění TiO_2
- Graf 39 PAD procento odstranění TiO_2
- Graf 40 PP procento odstranění TiO_2
- Graf 41 Bavlna vzlínavost v mokré prostředí původní materiál
- Graf 42 Bavlna vzlínavost v mokré prostředí materiál s TiO_2

Graf 43 Polyester vzlínávanost v suchém prostredí pôvodný materiál

Graf 44 Polyester vzlínávanost v suchém prostredí materiál s TiO_2

Graf 45 Polyamid vzlínávanost v suchém prostredí

Graf 46 Polypropylen vzlínávanost ve vlhkém prostredí

Seznam použitých zkratek a symbolů

TiO ₂	oxid titaničitý, titanoxid
ZnO	oxid zinečnatý
SiO ₂	oxid křemičitý
UV	ultrafialové záření
UV-A	ultrafialové záření 320 - 400 nm
UV-B	ultrafialové záření 290 – 320 nm
UV-C	ultrafialové záření pod 290 nm
VIS	viditelné záření
IR	infračervené záření
PP	polypropylen
PES	polyester
PAD	polyamid
ba	bavlna
D _o	dostava osnovy [n/10cm]
D _u	dostava útek [n/10cm]
n _D	index lomu
λ	vlnová délka [nm]
φ	relativní vlhkost vzduchu [%]
ρ _v	absolutní vlhkost vzduchu [kg/m ³]
τ	transmitance
A	absorbance
c	molární koncentrace [mol/dm ²]
d	délka absorpčního prostředí [cm]
F	síla [N]
ρ _s	plošná hmotnost [kg/m ²]
σ	napětí [GPa]
ε	tažnost [%]
l	délka [m]
w	nasákavost [kg/m ₂]
nm	nanometr
μm	mikrometr
T	teplota [°C]
T _k	teplota krystalizace [°C]
T _t	teplota tání [°C]
T _v	teplota varu [°C]
T _g	teplota zesklňování [°C]
SEM	rastrovací elektronový mikroskop
XRF	rentgenová fluorescenční analýza
UPF	ultrafialový ochranný faktor
SPF	sluneční ochranný faktor
E171	potravinářské barvivo
H ₂ O	voda

Seznam použité literatury a internetové zdroje

- [1] WIENER, Jakub, M. PRŮŠOVÁ a J. KRYŠTŮFEK. *Chemicko-textilní rozbor*. Liberec: skripta TUL, 2008, 121 s., ISBN 978-80-7372-338-5
- [2] KOZLOVSKÁ, H., BOHANESOVÁ, B.; *Oděvní materiály I*. Informatorium, Praha, 1998, str. 132, ISBN 80-85427-28-9
- [3] KRČMA, Ladislav. *Degradace textilních vláken a ochrana proti ní*. Praha: SNTL, 1976. ISBN 04-801-77.
- [4] MILITKÝ, Jiří. *Technické Textilie – vybrané kapitoly*. Liberec: skripta TUL, 2007. ISBN 978-80-7372-170-1.
- [5] JIRSÁK, O., KALINOVÁ, K. *Netkané textilie*, Liberec: skripta TUL, 2003, str. 129, ISBN 80-7083-746-2
- [6] WOLFGANG D. Schindler, Peter J. Hauser; *Chemical finishing of textiles*, Woodhead Publishing, 2004, 213 s.
- [7] PASTRNEK, R. a P. VLACH. *Finální úpravy textilií*. Liberec: skripta TUL, 2002, 117 s.
- [8] *Světlo* [online]. 2012 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: <http://www.power-tech.cz/led-lighting-pojmy.php>
- [9] MACHAŇOVÁ, D., PRÁŠIL, M. *Ekologické aspekty textilních procesů*. Liberec: skripta TUL, 2009, str. 329, ISBN 978-80-7372-460-3
- [10] FUJISHIMA, Akira; HASHIMOTO, Kazuhito; WATANABE, Toshiya. *TiO₂ Fotokatalýza, základy a aplikace*. Praha : Gryga, 2002. 128 s. ISBN 80-903113-3-4.
- [11] *UV záření* [online]. [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: <http://www.lifetech.cz/cz/uv-zareni/text.html?id=89&menu=6>
- [12] *UV záření* [online]. 2011 [cit. 2012-03-13]. Dostupné z: <http://madico.cz/>
- [13] *Nanočistička vzduchu*. [online]. [cit. 2011-11-15]. Dostupné z: <http://www.advancedmaterials1.com/>

- [14] JANDOVÁ, D. *Balneologie*. Praha: Grada Publishing, 2009, 440 s. ISBN 978-80-247-2820-9.
- [15] *UV Protection textile materials* [online]. 2007 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: http://autextrj.com/cms/zalaczone_pliki/6-07-1.pdf
- [16] REI.com, Understanding Sun-Protection Clothing. [online]. [cit. 2011-10-29]. Dostupné z: <http://www.rei.com/expertadvice/articles/sun+protection.html>
- [17] BOORAS, Charles H., MD; *SPF, UVB and UVA Protection Explained*, [cit. 2011-11-10]. Dostupné z: <http://jaxmed.com/articles/wellness/spf.htm>
- [18] *UV Protection Factor or "UPF"* [online]. 2012 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: <http://www.coolibar.com/upf-ratings.html>
- [19] MILITKÝ, Jiří. *Modifikace struktury a vlastností vláken a vztah k užitným a zpracovatelským vlastnostem vláken* [online]. [cit. 2012-02-09]. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska14.pdf>
- [20] ŠKRD LANTOVÁ, Markéta. *Koroze a degradace přírodních textilních vláken* [online]. [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/3_6.pdf
- [21] VERONOVSKY, N., M. SFILIGOJ-SMOLE a J. L. VIOTA. *Characterization of TiO₂/TiO₂-SiO₂ Coated Cellulose Textiles* [online]. 2009 [cit. 2012-03-04]. Dostupné z: <http://trj.sagepub.com>
- [22] MILITKÝ, Jiří a Jiří VANÍČEK. *Vlastnosti vláken: Ultimativní mechanické chování a porušení vláken* [online]. [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz>
- [23] KOTLÍK, P. *Stavební materiály historických objektů*. Praha: VSCHT, 1999. ISBN 80-7080-347-9.
- [24] KOVAČIČ, V., MILITKÝ, J., RUBNEROVÁ, J. *Rastrovací elektronový mikroskop jako prostředek moderní výuky v oboru textilním*. [online]. [cit. 2011-10-29]. Dostupné z: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/?q=cs/rem>

- [25] NEBEŠÁKOVÁ, J., *Elektronová mikroskopie pro biology* [online]. [cit. 2011-10-29]. Dostupné z: <http://www.paru.cas.cz/lem/book/Podkap/7.2.html>
- [26] *Rentgenfluorescenční mikroskop* [online]. [cit. 2012-03-03]. Dostupné z: <http://barrande.nm.cz/index.php?p=7>
- [27] *XRF Spectrometers* [online]. 2012 [cit. 2012-03-03]. Dostupné z: <http://www.spectro.com/pages/e/p0105.htm?gclid=CKu3zJDmyq4CFUZa3wodchOQ-Q>
- [28] *Spektrofotometrické stanovení celkového Fe a jeho oxidačních forem v přípravcích doplňkové výživy* [online]. [cit. 2011-12-28]. Dostupné z: <http://fch.upol.cz/skripta/zfcm/fero/fero.pdf>
- [29] VÁVROVÁ, Jaroslava. *Lambert-Beerův zákon* [online]. [cit. 2011-12-28]. Dostupné z: <http://ciselniky.dasta.mzcr.cz/hypertext/200820/hypertext/AJBDN.htm>
- [30] KOMÍNKOVÁ, Jana a Oto MESTEK. *Atomová absorpční spektrometrie* [online]. [cit. 2011-12-28]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/anl/lach2/AAS.pdf>
- [31] MASAKAZU, Anpo a Kamat V. PRASHANT. *Environmentally Benign Photocatalysts*. New York: Springer, 2010. ISBN 978-0-387-48441-9.
- [32] KANEKO, M., Ichiro Okura; *Photocatalysist: science and technology*. New York: Springer, 2002, str. 349, ISBN 3-54 0-43473-9
- [33] FUJISHIMA, A., ZHAN, X.; Comptes Rendus Chimie 9 (2005), *Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches*, [cit. 2012-02-09]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631074805003036>
- [34] KRÝSA, J. a J. ZITA. *Testování antibakteriálních účinků fotokatalytických vrstev TiO₂: metodika a vliv intenzity záření* [online]. Praha: VSCHT, 2010 [cit. 2012-02-09]. ISBN 978-80-7080-759-0. Dostupné z: <http://www.nanopin.cz/pdf/sbornik10.pdf>
- [35] SOLDÁN, Maroš. *Využitie fotokatalytických vlastností TiO₂* [online]. Materiálovo-technologická fakulta STU: Trnava, 2002 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: http://www.mtf.stuba.sk/docs/internetovy_casopis/2002/1/soldan.pdf

- [36] PAZDZIORA, Erich. Využití fotokatalytických vlastností TiO₂. [online]. [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <http://www.zdn.cz/clanek/sestra/vyuziti-fotokatalytickych-vlastnosti-tio2-461375>
- [37] CRAIG A. Grimes, Gopal K. Mor; *TiO₂ Nanotube Arrays Synthesis Properties and Applications*. New York: Springer 2009, str. 358, ISBN 978-1-4419-0067-8
- [38] BIGNOZZI, C. A.; *Photocatalysis*. New York: Springer, 2011, str. 220, ISBN 978-3-642-22239-1
- [39] *Fotokatalýza* [online]. [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.export-japan.com/marketing/titernal/tio2.html>
- [40] PŘIKRYL, Jan. *Analýza vhodných receptur pastovitých omítkovin s aplikací fotokatalytické titanové běloby* [online]. [cit. 2011-11-15]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008_sekce/pdf/4_2/Prikryl_Jan_CL.pdf
- [41] Egerton, G. S. *J.S.D.C.* 1947, 63, 161
- [42] Little, A. H.; Parsons, H. L. *J. Text. Inst.* 1967, 58, 449.
- [43] G. BUSCHLE-DILLER and S. H. ZERONIAN, *Weathering and Photodegradation of Cellulose* [online]. 1993, Chapter 14, pp 177–189, [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-1992-0531.ch014>
- [44] Angster, A. *Melliand Textilber.* 1952, 33, 739.
- [45] L. MAGALLÓN-CACHO., et al. *Surface modification of acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) with heterogeneous photocatalysis (TiO₂) for the substitution of the etching stage in the electroless process* [online]. 2011 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: http://journals2.scholarsportal.info/details.xqy?uri=/02578972/v206i0006/1410_smoawhesitep.xml
- [46] *Titanium* [online]. [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=712>
- [47] *Minerals* [online]. 2010 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: <http://webmineral.com/>
- [48] *Anatase* [online]. 2011 [cit. 2011-10-29]. Dostupné z: <http://www.mindat.org/show.php?id=213&ld=1>

- [49] *Brookite* [online]. 2011 [cit. 2011-10-29]. Dostupné z: <http://www.mindat.org/min-787.html>
- [50] DIEBOLD, Ulrike. The surface science of titanium dioxide: *The surface science of titanium dioxide*. 2003, č. 48, s. 229. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167572902001000>
- [51] FIŠERA Milan; *Anatas ve sbírce mineralogicko-petrologického oddělení Přírodovědeckého muzea Národního Muzea*; Roč. 12, 2004 str. 56-63 článek
- [52] *Rutile* [online]. 2011 [cit. 2011-10-29]. Dostupné z: <http://www.mindat.org/min-3486.html>
- [53] *Minerální pigmenty a barviva* [online]. [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/pigmenty_barviva.html
- [54] ŠTENGL, Václav. *Kouzelný oxid titaničitý* [online]. Vesmír 87, 06-2008 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <http://www.uach.cz/clanky/>
- [55] SCHWARZER, Jan. *Vlhký vzduch a jeho úpravy* [online]. [cit. 2012-02-09]. Dostupné z: http://www.fsid.cvut.cz/~schwajan/schwarzer_soubory/Soubory/Vlhky_vzduch/vv.pdf
- [56] *Měření vlhkosti* [online]. [cit. 2012-02-09]. Dostupné z: <http://www.topinstruments.cz/mereni-vlhkosti.html>
- [57] *Ultrazvukový homogénizátor* [online]. 2007 [cit. 2011-11-16]. Dostupné z: <http://www.thermofisher.cz/>
- [58] *Rastrovací elektronový mikroskop s motorizovaným manipulátorem* [online]. [cit. 2011-12-11]. Dostupné z: <http://www.isibrno.cz/lem/tescan.html>
- [59] *Rentgenfluorescenční spektrometr* [online]. 2011 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <http://www.kch.tul.cz/>
- [60] *Silikagel* [online]. 2011 [cit. 2011-05-11]. Dostupné z: <http://www.grace.com/About/Businesses/>
- [61] *Silikagel* [online]. 2011 [cit. 2011-05-11]. Dostupné z: <http://www.filco.cz/silikagel-cz>